T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AĞ ÖMRÜNÜ EN BÜYÜKLEME AMAÇLI KÜME KAPSAMA PROBLEMLERİ

Hazırlayan
Ahmet KARA

Danışman
DOÇ. DR. Banu SOYLU

Yüksek Lisans Tezi

HAZİRAN 2014
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AĞ ÖMRÜNÜ EN BÜYÜKLEME AMAÇLI KÜME KAPSAMA PROBLEMLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Ahmet KARA

Danışman
DOÇ. DR. Banu SOYLU

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2013-4441 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Haziran 2014
KAYSERİ

BİLİMSEL ETKİNLİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Ahmet KARA

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Ağ Ömrünü En Büyükleme Amaçlı Küme Kapsama Problemleri" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi 'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Ahmet KARA

Danışman

Doç. Dr. Banu SOYLU

Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. İbrahim DOĞAN

Doç. Dr. Banu SOYLU danışmanlığında **Ahmet KARA** tarafından hazırlanan "**Ağ Ömrünü En Büyükleme Amaçlı Küme Kapsama Problemleri**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

20 / 06 / 2014

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Banu SOYLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sebla Kapan Ulusoy

Üye : Doç. Dr. İbrahim Değer

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 24/06/2014 tarih ve 2014/28-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

24 / 06 / 2014

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Doç. Dr. Banu SOYLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2013-4441) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet KARA

Kayseri, Haziran 2014

AĞ ÖMRÜNÜ EN BÜYÜKLEME AMAÇLI KÜME KAPSAMA PROBLEMLERİ

Ahmet KARA

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2014

Danışman: Doç. Dr. Banu SOYLU

KISA ÖZET

Bu çalışmada, her bir algılayıcının rastgele yerleştirildiği ve sınırlı enerjiye sahip olduğu kablosuz algılayıcı ağların ömrünün en büyüklenmesi problemi ele alınmıştır. Izgara yapıya sahip bir bölgedeki hedefler, belirli bir kapsama alanına sahip algılayıcılar tarafından algılanmaktadırlar. Dolayısıyla problem küme kapsama probleminin bir çeşididir. Çalışmada mükemmel kapsamalı ve olasılıksal kapsamalı olmak üzere iki problem ele alınmıştır. Birinci problemin amacı, bütün hedeflerin mükemmel olarak kapsandığını garanti eden ve enerji kısıtlarının kablosuz algılayıcı ağlarının ağ ömrünü en büyüklemektir. Dolaysıyla mükemmel kapsamalı ve en büyük ağ ömürlü küme kapsama modeli sunulmuştur. İkinci problemde ise çeşitli doğal faktörlerin etkisi ile algılayıcıların olasılıksal kapsama yapabildiği durum ele alınmıştır ve güvenilir kapsama kısıtlı, en büyük ağ ömürlü küme kapsama modeli sunulmuştur. Her iki problemde doğası gereği NP-hard kategorisindedir. Optimum çözüm sadece orta büyüklükteki problemler için bulunabilmektedir. Dolaysıyla Açgözlü (Greedy) sezgiseli, Adım-adım ekleme sezgiseli ve Lagrangian sezgiseli olmak üzere 3 farklı sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sezgiseller oluşturulan farklı deney setleri için denenmiş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küme kapsama problemi, kablosuz algılayıcı ağlar, ağ ömrünü en büyükleme problemi, Açgözlü sezgiseli, Lagrangian sezgiseli

THE SET COVERING PROBLEMS WITH NETWORK LIFETIME MAXIMIZATION

Ahmet KARA

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, June 2014

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Banu SOYLU

ABSTRACT

In this study, the wireless sensors network problem, where each sensor is deployed and has a finite lifetime, is considered to maximize the network lifetime. The targets located on a gird structure have been detected by sensors having a specific sensing field. Therefore the problem is a kind of set covering problem. In this study, two problem as perfect sensing and probabilistic sensing have been addressed. The aim of the first problem is to maximize the network lifetime in wireless sensors networks, in which the coverage of all targets is guaranteed and all sensors have finite lifetime. So, the set covering problem with perfect sensing and maximize lifetime is presented. In the second problem, the case of probabilistic sensing due to environmental factors is considered, and the set covering problem with reliable coverage constraint and maximize lifetime is presented. Both problems are NP-hard in nature. So the optimum can only be found for mid-size problem instance. Therefore, three heuristic approaches as Greedy, Step by step and Lagrangian, were developed. These heuristics were applied to different data sets constructed and the results were analysed.

Keywords: : Set covering problem, wireless sensor networks, life time maximization, greedy heuristic, Lagrangian heuristic.

İÇİNDEKİLER

AĞ ÖMRÜNÜ EN BÜYÜKLEME AMAÇLI KÜME KAPSAMA

Sayfa

BİLİMSEL ETKİNLİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ii
TEŞEKKÜR iv
KISA ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR VE SİMGELER x
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1 Literatür Araştırması 4

2. BÖLÜM
KAPSAMA PROBLEMLERİ VE KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

2.1 Kapsama Problemleri 12

2.1.1 Küme Kapsama Modeli 13

2.1.2 En Büyük Alan Kapsama Modeli 14

2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlar 15

2.2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağların Yapısı 15

2.2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağların İletişim Yapısı..... 17

2.2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları..... 18

2.2.4 Algılayıcıların Kapsama Modelleri 19

3. BÖLÜM
PROBLEMİN TANIMI

3.1 Problemin Varsayımları 21

3.2 Ağ Ömrünü En Büyükleyen Mükemmel Küme Kapsama Problemi 23

3.3 Ağ Ömrü En Büyükleyen Olasılıksal Küme Kapsama Problemi 26

4. BÖLÜM
SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR

4.1 Açgözlü (Greedy) Sezgiseli 30

4.2 Adım-Adım Ekleme Sezgiseli 34

4.3 Lagrangian Sezgiseli..... 36

5. BÖLÜM
DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Deney Setlerinin Oluşturulması 42

5.2 Sonuçların Analizi 43

6. BÖLÜM
TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Değerlendirme Ve Sonuç 55

KAYNAKLAR 58

ÖZGEÇMİŞ..... 61

KISALTMALAR VE SİMGELER

KAA:	Kablosuz Algılayıcı Ağlar
DP:	Doğrusal Programlama
GRASP:	Rassallastırılmıs Uyarlamalı Arama Yordamı
i:	Algılayıcı indisi
j:	Hedef noktası indisi
k:	Aktif algılayıcı kümesi indisi
dij:	i noktasındaki algılayıcı j noktasındaki hedef arasındaki Öklid uzaklık değeri
aij:	i noktasındaki algılayıcı j noktasındaki hedef i kapsama faktörü değeri
Ak	k. kümedeki aktif algılayıcılar
tk :	k. kümenin ömrü
xik:	i noktasındaki algılayıcı k kümesine atanma faktörü
M:	Büyük bir sayı
yik:	i noktasındaki algılayıcının k kümesine atanırsa aktif kalma süresi
θ:	Algılama parametresi
tot[i]:	i noktasındaki algılayıcının kapsadığı hedef sayısı
T:	Hedefler kümesi
SN:	Algılayıcılar kümesi
r:	Algılayıcıların algılama yarıçapı
K^{ust}:	Doğrusal Programlama gevşetmesi ile elde edilen üst sınır değeri
MSN:	Mevcut durumda enerjisi olan algılayıcılar kümesi
CPU:	Merkezi İşlemci Birimi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Farklı algılama yarıçapları için algılama parametre değerleri 44

Tablo 2: Doğrusal model 1 ve 2 için en iyi ağ ömrü..... 44

Tablo 3: Doğrusal model 1 ve 2 için elde edilen üst sınır değerleri 45

Tablo 4: Problem 1 için Açgözlü Sezgiseli sonuçları 46

Tablo 5: Problem 2 için Açgözlü Sezgiseli sonuçları 47

Tablo 6: Problem 1 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli sonuçları 48

Tablo 7: Problem 2 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli sonuçları 50

Tablo 8: Problem 1 için Lagrangian Sezgiseli sonuçları 51

Tablo 9: Problem 2 için Lagrangian Sezgiseli sonuçları 53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Kablosuz Algılayıcı Ağların Yapısı 16

Şekil 2: Kablosuz ağ yapısı elemanları ve algılama durumu 22

Şekil 3: Kapsama olasılıkları farklı iki algılayıcı örnegi 33

Şekil 4: 25 hedef ve 10 algılayıcı için deney seti örneği 43

Şekil 5: Algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği 45

Şekil 6: Algılayıcı sayısı ve ağ ömrü için üst sınır eğilim grafiği 46

Şekil 7: Problem 1 için Açgözlü Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği… 47

Şekil 8: Problem 2 için Açgözlü Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği 48

Şekil 9: Problem 1 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği 49

Şekil 10: Problem 1 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ile CPU zamanı eğilim grafiği 49

Şekil 11: Problem 2 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği 50

Şekil 12: Problem 2 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ve CPU zamanı eğilim grafiği 51

Şekil 13: Problem 1 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği 52

Şekil 14: Problem 1 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve CPU zamanı eğilim grafiği 52

Şekil 15: Problem 2 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği 54

Şekil 16: Problem 2 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve CPU zamanı eğilim grafiği 54

GİRİŞ

Kapsama problemi, belirli bir coğrafyada mevcut olan hedefleri kapsayabilecek kümeler arasında belirli bir amaç fonksiyonunu en iyileyecek kümeleri bulmaktır. Tesis yeri seçimi problemi ile yakın ilişkisi olup, tarihin en eski problem sahası olan yer bulma sorununa kadar geriye gider. Zira insanoğlu ilk olarak kendisi için korunabileceği ve en önemlisi bol bol yiyecek bulabileceği yerleşim alanlarını aramaya başlamıştır. Nitekim ilk yerleşim yerleri olan medeniyetler doğal kaynaklar yönünden zengin olan bölgelerde ortaya çıkmıştır. Yer bulma tarihin her döneminde var olduğu gibi, en küçüğünden en büyüğüne kadar toplumun her kesiminde ele alınan bir problem sahasıdır [10].

Kapsama problemleri aynı zamanda algılayıcılardan oluşan şebekeler içinde temel oluşturmaktadır. Belirli bir bölgeyi gözlem altında bulundurmak için algılayıcılar yerleştirilmektedir. Kapsama kısıtı bu şebekeler içinde geçerlidir. Yani, belirlenen her noktanın en az bir algılayıcının kapsama alanında olması gereklidir [10].

Kapsama problemlerinin en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biriside Kablosuz Algılayıcı Ağlardır (KAA). Bugün KAA' lar geniş uygulama alanına sahipti. Özellikle savaş alanlarının gözlenmesi, sağlık alanında hastaların sağlık durumlarının izlenemesin de ve çevresel alanlarda uygulama alanları mevcuttur [17].

KAA'lar belirli bir bölgedeki basınç, sıcaklık, nem, belirli türdeki objelerin varlığını veya yokluğunu, gürültü seviyesi gibi kapsanacak alandaki çevreyle ilgili verileri algılayan, algılanan verileri işleyen ve işlenmiş veriyi ileten bir sistemdir. KAA'lar; çok sayıda, sınırlı-enerjiye sahip, düşük maliyetli, çok fonksiyonlu algılayıcılardan ve sınırsız enerjiye ve işlem kapasitesine sahip daha gelişmiş baz istasyonlarından oluşmaktadır [18].

KAA' lar çok sayıda benzer veya farklı algılayıcıdan oluşabilir. Benzer algılayıcılardan oluşan ağ yapısına homojen, farklı algılayıcı tiplerinden oluşan ağ yapısına ise heterojen ağ denir. Bir algılayıcı farklı zaman periyotları içerisinde aktif veya uyku durumunda olabilir. Aktif durumdaki bir algılayıcı, çevresindeki verileri algılama, verileri işleme ve işlenen bu verileri iletmek için enerji harcamaktadır. Uyku durumundaki bir algılayıcı ise algılama yapmadan minimum düzeyde enerji harcar ve böylece enerji tasarrufu sağlanır. Uyku durumundaki algılayıcılar diğerlerinin enerjileri tükendiğinde devreye girerek ağ ömrünün artmasına sebep olur.

KAA' ların en temel sorunlarında biri sınırlı enerji kaynağıdır. KAA' ların kapsama alanlarındaki algılayıcılar yeniden şarj edilemeyen pillerle enerji ihtiyaçlarını sağlayabilmektedirler. Bu nedenle literatürde ağ ömrünü en büyükleme problemi üzerinde durulmuştur. Bir zaman periyodu içerisinde, hedeflerin mükemmel kapsayacak algılayıcı kümeleri oluşturarak hangi algılayıcıların ne kadar süre aktif durumda hangi algılayıcıların ise uyku durumunda olacaklarını belirleyecek çizelgelemeler önerilmiştir [31]. Hangi zaman periyodunda hangi algılayıcıların aktif veya uyku durumunda oldukları belirlenerek enerji tasarrufu sağlanacak ve ağ ömrü en büyüklenecektir.

Bu çalışmanın amacı, mükemmel kapsamalı ve olasılıksal kapsamalı KAA uygulamaları için çözüm yöntemlerinin geliştirilmesidir. Literatürde, sadece bir çalışmada [22] KAA' ların ağ ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan mükemmel kapsamalı problem için doğrusal olmayan bir model ve onu çözmek için doğrusal gevşetme ve Açgözlü temelli sezgiseller sunulmuştur. Bu çalışmada ise bu model doğrusallaştırılarak çözülmüştür ve ayrıca problemin olasılıksal kapsamalı versiyonuda ele alınmıştır. Birinci problemde kapsama alanına rastgele dağıtılmış algılayıcıların kapsama aralığı içindeki hedefleri tam kapsadığı kabul edilmiştir. İkinci problemde ise kapsama alanına rastgele yerleştirilmiş algılayıcıların kapsama alanı içerisindeki hedefleri belirli bir güvenilirlik düzeyinde kapsaması için güvenilirlik kısıtı eklenerek olasılıksal kapsadığı kabul edilmiştir. Bu problemlerin daha hızlı çözümlerine ulaşabilmek amacı ile 3 farklı sezgisel yaklaşım uygulanmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde literatür araştırması ile ilgili bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde Kapsama problemlerinin matematiksel problemleri ve kullanılan notasyonlar hakkında bilgiler verilmiştir ve ayrıca kablosuz algılayıcı ağların yapısından, uygulama

alanlarından ve algılayıcıların çevrelerinden algıladıkları verilerin neler olduğundan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde mükemmel kapsamalı ve olasılıksal kapsamalı problemler tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde problemlerin çözümü için geliştirilen sezgisel yaklaşımlar verilmiştir. Beşinci bölümde problemlerin en iyi çözümleri ve ayrıca sezgisel çözümlerinin sonuçları analiz edilmiştir. Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1 Literatür Araştırması

Literatürde algılayıcıların sahip oldukları enerjileri etkin ve tasarruflu bir şekilde kullanılmasına odaklanarak ağ ömrünün iyileştirilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda problemin öncelikle matematiksel modelleri kurulmuş ve ardından bu modellerden faydalanılarak optimum veya optimuma yakın sonuçlar veren sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda modellerin performansı ve sezgisel yaklaşımların performansı incelenmiştir.

Altınel vd. [20] iki boyutlu grid yapıya sahip bir alanın, farklı tipteki algılayıcılar ile kapsanması için 0-1 değişkenli tamsayılı programlama modeli oluşturmuşlardır. Kullanılan algılayıcılar fiyat ve kalite özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. Sunulan ilk 0-1 değişkenli tamsayılı programlama modeli her bir hedefin en az bir algılayıcı tarafından kapsandığı ve her bir noktada en fazla bir tür algılayıcının yerleşmesine izin veren küme kapsama modelidir. İkinci modelde ise, belirli nedenlerle bir algılayıcının herhangi bir hedefi algılayamama olasılığı göz önüne alınarak minimum maliyetli algılayıcı yerleştirme modeli oluşturulmuştur. Bu modellerin daha hızlı ve etkili çözümlerine ulaşmak için Açgözlü (Greedy) ve Lagrangian sezgiselleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sezgisellerin çeşitli veri setleri için çözüm kaliteleri ve çözüm süreleri açısından analizleri yapılmıştır.

Cardei vd. [22] ağ ömrünü arttırmak için hangi kümelerde hangi algılayıcıların aktif/uyku modunda olacağını belirleyen ve ilgili küme sayısını en büyüklemeyi amaçlayan bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda sadece aktif olan algılayıcılar bütün hedefleri izleme ve toplanan verileri iletme işlemlerini yaparken diğer algılayıcılar düşük enerji ile uyku modunda kalmaktadır. Sunulan maksimum küme

kapsama probleminde, her bir hedefin bütün kümelerde en az bir algılayıcı tarafından kapsandığı ve her bir algılayıcının en fazla 1 birim zamanlık ömre sahip olması garanti edilmektedir. Bu önerilen model, her bir algılayıcının aktif veya uyku modları arasında hangi kümede hangi durumu seçeceğini çizelgelemektedir. Ayrıca bu çalışmada doğrusal programlama ve açgözlü yaklaşımları kullanılarak iki farklı sezgisel önerilmiştir ve farklı veri setleri için bu yaklaşımlar analiz edilmiştir.

Papadimitriou ve Georgiadis. [24] enerji kısıtlı algılayıcılar ve hareketli veri toplama araçlarına (sink) sahip olan kablosuz algılayıcı ağların yaşam ömrünü maksimize etme problemini incelenmişlerdir. Ağın ömrünü maksimize etmek için geliştirilen doğrusal programlama modelinde algılayıcılar arasında farklı iletim enerjisi ile veri transferi mümkün kılınmıştır. Ayrıca önceden belirlenmiş lokasyonlara hareketli sinkler ile veri transferlerine destek sağlanmıştır. Sunulan doğrusal programlama modelinde iki noktaya odaklanılmıştır; Birincisi, sinklerin lokasyonlarda kalma süresini belirleyen çizelgeleme problemi ve diğeri ise, uygun etkili enerji rotalarının bulunması için rotalama problemidir. Doğrusal programlama modelinde bütün olası lokasyonlar da sinklerin bekleme sürelerinin toplamının maksimize edilmesi ile ağ ömrünün maksimize edileceği düşünülmüştür. Ayrıca her bir algılayıcının başlangıç enerji miktarı göz önünde bulunduran kısıt ve her bir algılayıcıya iletilen bilgi ile üretilen bilgi toplamının, transfer edilen bilgi miktarına eşit olması gerekliliği ile ilgili kısıt mevcuttur. En kısa yol modeli, çoklu en kısa yol modeli ve statik sink modeli ile karşılaştırma yapılmıştır.

Ahmed vd. [2] gerçek hayatta algılayıcıların algılama özelliklerinin çevresel koşullardan etkilenebileceği de göz önüne alan olasılıksal kapsama modelini incelemişlerdir. Algılayıcıların rastgele dağıldığı kabul edilmiştir. Olasılıksal kapsama algoritması, bir noktanın gerekli algılama olasılığında olup-olmadığı göz önüne alınarak kapsanıyor/kapsanmıyor kararı vermektedir. Ayrıca hedef bölgesindeki bir nokta birden fazla algılayıcı tarafından kapsanabilir ve bu sayede ilgili hedef noktası için kümülatif olarak algılanma olasılığı artmaktadır.

Chakrabarty vd. [6] iki farklı problemin çözümü üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu problemlerden birincisinde, izlenecek bölge ve farklı tip algılayıcılar dikkate alınarak minimum maliyet ve istenilen kapsama ile hangi tip algılayıcının nereye yerleşeceği incelenmektedir. İkinci problemde ise; ızgara üzerindeki hedefleri algılayabilen farklı

algılayıcı alt kümeleri oluşturarak ızgaralara algılayıcıların yerleştirilmesi ele alınmaktadır. Bu problemler tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturularak çözülmüştür ayrıca büyük veri setlerinin çözümü için böl ve fethet yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımın optimuma yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Wang vd. [29] algılayıcı kümelerindeki algılayıcı sayılarına üst sınır koyarak, ağın ömrünü maksimize edip diğer taraftan kapsanmama durumunu (ağın kısmi kapsanması) minimize eden birbirine zıt iki amaç üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Minimum kapsanmama durumu (ağın kısmi kapsanması) ve maksimum ağ ömrünü amaçlayan iki farklı problemin optimizasyonu için algoritmalar geliştirilmiştir. Minimum kapsanmama probleminin optimum çözümü için Doğrusal Programlama gevşetmesi tekniği ile Açgözlü (Greedy) tekniği kullanılarak iki farklı algoritma sunulmuştur. Bununla birlikte, maksimum ağ ömrünü amaçlayan problem içinde farklı bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmalar için kapsanmama oranı göz önüne alınarak sonuçlar analiz edilmiştir.

He vd. [21] hedef kapsama problemlerinde algılayıcıların arızalanma durumlarını ele alan literatürdeki ilk çalışmadır. Zayıf iletişim bağlantıları ve çevre şartlarından dolayı her bir algılayıcının arıza olasılığından yola çıkarak hedeflerin kapsanmama olasılıkları ve kümelerin arıza olasılıkları hesaplanmıştır. İstenilen güvenilirlikle algılayıcı küme sayısını maksimize edecek hedef kapsama problemi modellenmiştir. Bu problemde, önceden tanımlanmış arıza olasılığı ile kablosuz algılayıcı ağların ömrünü etkili bir şekilde arttırmak için kümelerdeki algılayıcılar bütün hedefleri kapsama sorumluluğunda aktif mod da veri iletimini sağlarken diğer algılayıcılar düşük enerji ile uyku modun da beklemektedirler. Hedef kapsama probleminin çözümü için sezgisel greedy algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma ağ güvenilirlik kapsama olasılığını maksimum yapmanın yanı sıra ağ ömrünü de maksimum yapmaya çalışmaktadır. Geliştirilen sezgisel greedy algoritması ile geleneksel hedef kapsama modeli arasında karşılaştırma yapılmış ve çıkan sonuçlara göre ekstra enerji harcamadan ağ güvenilirliği kontrol edilmektedir.

Church ve ReVelle. [7] küme kapsama modelinde tüm talebin kapsanması için maliyeti maksimize edecek kümeler belirlenirken, eldeki kaynaklarla kapsanabilecek maksimum talebin optimizasyonu için maksimum kapsama modeli ortaya konmuştur. Maksimum

kapsama modeli, merkezden S uzaklıkta kapsanabilecek popülasyonu veya talebi maksimum yapabilecek p kümenin belirlenmesi modelidir.

Revelle ve Hogan. [26] çalışmalarında maksimum güvenilirlik yerleşim problemini ele almış ve bu problemin α güvenilirlik p-merkez problem ile ilişkilerini incelemiştir. Maksimum güvenilirlik probleminde, bir i düğümünün α güvenilirlik seviyesinde kapsanması için gerekli küme sayısı probleme girdi olarak verilmiştir ve bu sayının belirlenmesi için meşguliyet bazında bazı formülasyonlar önermiştir. α güvenilirlik p-merkez probleminde ise p tane servis istasyonu açılacak ve s zaman penceresinde en düşük güvenilirlik düzeyine sahip servis en büyüklenmektedir. Bir uygulama gerçekleştirilmiş ve değişik güvenilirlik düzeyleri için denemeler yapılmıştır.

Güvenilirlik ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada Sorensen ve Church [28], kapsanan güvenli talebi en iyilemeye çalışmışlardır. Bir i noktasının kaç servis istasyonu tarafından kapsanacağına model karar vermektedir. Ancak kapsama miktarı arttıkça güvenilir kapsanan talep miktarı da artmaktadır. Geliştirdikleri diğer modelde güvenilir kapsanan talep hem hangi düğümde olduğuna hem de kaç istasyon tarafından kapsanacağına bağlı olarak değişmektedir. Diğer modelde ise her düğümün talebi belirli bir güvenilirlik düzeyini sağlamış ise kapsanmış demektir. Bu güvenilirlik düzeyini sağlayacak kapsama sayısı her düğüm için modele girdi olarak verilmiştir. Amaç diğer iki modelde olduğu gibi kapsanan talebi maksimize etmektir.

Hogan ve Revelle [16]tarafından yapılan çalışmada, bir talep noktasının ikinci defa kapsanması olarak ifade edilen yedek kapsamayı, acil servis istasyonlarının yerleşiminin modellenmesinde bir karar kriteri olarak önerilmiştir. Bu çalışmada 2 farklı yedek kapsama modeli ortaya konmuştur. Yedek kapsama modeli 1; Modelde herhangi bir hedef en az bir asil küme ile kapsanmasının yanı sıra, yedek kapsama kümelerinin maksimum talebi kapsayacak şekilde modellenmesi ile optimum yerleşimi elde etmeyi çalışmışlardır. Bu model, klasik küme kapsama modeli ile yakından ilişkilidir. Yedek kapsama modeli 2; modelde her bölgenin kapsanmasının zorunlu olmadığı ve en fazla p kümenin açılabileceği maksimum kapsama modelini temel alan ve yedek kapsanan talebin en büyüklenmesini amaçlayan yedek kapsama modeli 2'yi kurmuşlardır.

Pirkul ve Schilling [25], yedek kapsama modeli ile ilgili çalışmasında her tesisin belirli bir kapasitesi vardır. Bölgedeki bütün talep noktalarına bir asil birde yedek servis hizmeti sağlayabilen 2 tesisin atandığı bir model önermiş ve bir çözüm prosedürü geliştirmiştir. Bu model, bütün talep noktalarının kapsandığı ve kapsanan talep miktarını en iyilemeyi amaçlamaktadır. Çözüm prosedürü Lagrange gevşetmesi kullanmışlardır.

Maksimum Beklenen Kapsama Modeli: Bu çalışma stokastik kapsama problemleri ile ilgili yapılan ilk çalışmalardan biridir. Araçlarının herhangi bir talebe cevap vermeme olasılıklarının göz önüne alınarak formüle edilmiştir. Maksimum beklenen kapsama modelinde p olasılığında meşgul olma durumu bütün tesisler için geçerli olması kabulüne dayanır. Ayrıca bir aracın meşgul olma olasılığı diğer araçların meşgul olma durumlarından bağımsızdır. Amaç kapsanması beklenen talebi makimize etmektir [9].

Ball ve Lin [5] acil servis istasyonlarının yerlerinin ve bu istasyon için gerekli olan araç sayısının belirlenmesi için güvenilirlik kısıtlı bir model önermiştir. Her bir i düğümünün belirli bir p güvenilirlik değerinin üstünde en az bir istasyon tarafından kapsanması gerekmektedir. Eğer bir düğümün meşguliyet yüzdesi düşük olan istasyon tarafından kapsanıyorsa daha güvenilir kapsanmaktadır. Bu modelin çözümünde dal-sınır algoritması kullanılmıştır ve çözüm parametreleri duyarlılık analizi ile yorumlanmıştır.

Farahani vd. [13] kapsama problemlerine ve bu alanda yapılan bütün çalışmalara genel bir bakış yapmaktadır. Kapsama problemleri ile ilgili bu genel bakışta ele alınan çalışmaların modelleri, çözümleri ve uygulamaları ile kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma aynı zamanda kapsama problemleri ve ardından bu problemlerin çözümleri ve uygulamaların incelenmesi bakımından ilktir.

Altınel vd. [19] ızgara yapılı kapsama alanına sahip farklı algılama kalitesi ve fiyatına sahip algılayıcılardan oluşan; tam, yetersiz ve belirsiz algılamalar için minimum maliyet ile algılayıcı yerleştirme stratejisinin belirlenmesi için 0-1 değişkenli tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Tam kapsamada bir algılayıcı algılama aralığı içerisindeki herhangi bir hedefi farklı durumlarda her zaman kapsamakta, yetersiz kapsamada belirli bir kapsama alanı içerisinde herhangi bir hedef her zaman kapsanmayabilir ve bir algılayıcının herhangi bir hedefi kapsaması iki nokta arasındaki

uzaklığa ve pozitif iki farklı katsayı dikkate alınarak belirlenmektedir. Son olarak belirsiz kapsamada ise kapsama alanındaki engeller ve çevre koşulları dikkate alınarak algılayıcının algılaması olasılıksal bir yaklaşım olarak düşünülmüştür. Modelin gerçek hayat problemlerinin çözümü için açgözlü(greedy) ve Lagrangian sezgiselleri geliştirilmiş çözümler analiz edilmiştir.

Castano vd. [12] kablosuz algılayıcı ağlarda, tüm hedeflerin kapsandığı algılayıcı kümeler oluşturulması sağlanarak ağ ömrünü maksimize etmeyi amaçlayan bir problem ele alınmıştır. Bu problemin çözümünde Sütun Üretme(Column Generation) ve Açgözlü Rassallastırılmıs Uyarlamalı Arama Yordamı(GRASP) ile karma bir sezgisel oluşturulmuştur. Sütun Türetme(Column Generation) yaklaşımı ile problem; ana problem ve yardımcı problem olmak üzere iki alt probleme ayrılmıştır. Ana problem, doğrusal programlama kullanılarak çözülmüş ve optimum dual değişken değerleri yardımcı problemin çözümünde kullanılmıştır. Yardımcı problemi ise Açgözlü Rassallastırılmıs Uyarlamalı Arama Yordamı(GRASP) ile geliştirilen algoritma kullanılarak çözülmüştür. Farklı veri setleri için problemin çözümü yapılmış tek sink veya birkaç sinkten oluşan problemin versiyonları için çözümler elde edilmiştir ve çözümlerin analizleri yapılmıştır.

Behdani vd. [3] bütün algılayıcılar arasında veri transferinin yapıldığı, lokasyonlar arasında hareket edebilen sinkler ve enerji kısıtlı algılayıcılardan oluşan kablosuz algılayıcı ağların ömrünü maksimize etmeyi amaçlayan bir problem incelenmiştir. Bu incelenen problem iki farklı şekilde modellenmiştir. İlk modelde gecikmeler tolere edilirken ikinci modelde ise gecikmeler göz ardı edilmiştir. Modellerin her biri için doğrusal programlama ile matematiksel modeli sunulmuş ve Sütun Türetme (Column Generation) yaklaşımı uygulanmıştır.

Güney vd. [11] Sınırlı enerjiye sahip algılayıcıların çevrelerinden topladıkları verileri sinklere iletmekle enerjilerinin önemli bir kısmını harcamaktadırlar. Bu nedenle sink lokasyonu ve algılayıcılardan sinklere veri akış rotasının belirlenmesi kablosuz algılayıcı ağların işlevlerinin sürdürebilirliği açısından iki önemli meseledir. Optimum sink lokasyonu ve veri rotalama için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Model iki grupta incelenmiştir. Önerilen modelin ilk grubunda, enerji farkındalığı üzerine yoğunlaşarak ağ ömrümü maksimize etmeyi amaçlamışladır. İkinci

grupta ise maliyet farkındalığı üzerine yoğunlaşıp toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca her iki grup model için farklı sayıda sink yerleştirilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Gerçek hayat problemleri için büyük veri setlerinin çözümünün daha hızlı ve etkili çözümleri için Lagrangian gevşetmesi (Lagrangean Relaxation) ve İç içe dual (Nested Dual) sezgiselleri geliştirilmiştir. Ayrıca daha iyi bir alt sınır (lower bound) elde etmek için Canonical Reduction sezgiseli önerilmiştir. Bu önerilen sezgisellerde küçük boyutlu örnekler için İç içe dual (Nested Dual) ve Canonical Reduction sezgiselleri daha iyi sonuçlar vermiştir. Büyük boyuttaki problemler için de Lagrangian gevşetmesi (Lagrangean Relaxation) sezgiseli daha iyi sonuç vermiştir.

Türkoğulları vd. [31] algılayıcıdan-algılayıcılara ve algılayıcılardan-sinklere veri akışının belirlenmesinin yanı sıra algılayıcıların yerlerinin ve yerleştirilen algılayıcıların çalışma çizelgelerinin belirleyerek kablosuz algılayıcı ağların ömrünü maksimize etmek için karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli kurulmuştur. Geliştirilen model büyük boyutlu problemlerin çözümünü yapmakta zorlanmış ve bu nedenle Sütun Türetme(Column Generation) sezgiseli geliştirilmiştir. Sezgiselin ilk kısmında sink yerleri belirlenmiştir. Sütun Türetme(Column Generation) sezgiseli ile kapsama kısıtlarını karşılayacak algılayıcı kümeleri oluşturulmaktadır. Bu kapsama kısıtlarını karşılayacak algılayıcı kümelerinin oluşturulmasında ama modele Doğrusal Programlama (DP) gevşetmesi uygulanarak elde edilmiştir. Sütun Türetme (Column Generation) sezgiseli ile problemin çözümünün daha hızlı ve daha etkili olduğu yapılan testlerde görülmüştür.

Cheng vd. [23] her bir algılayıcı kümesi tarafından kapsanmayan hedef noktalarının sayısını minimize etmeyi amaçlayan ve kümelerdeki algılayıcı sayısını kısıtlayan 0-1 değişkenli tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Hedefleri kapsayan herhangi bir kümedeki algılayıcılar aktif modda iken diğer kümelere ait algılayıcılar uyku moduna geçerek ağ ömrünü önemli ölçüde arttırmış olmaktadırlar. Bu problemin çözümünde iki farklı sezgisel geliştirmişlerdir. Geliştirilen sezgisellerin ilkinde tamsayılı doğrusal programlama modeli doğrusal programlama modeline gevşetilerek açgözlü algoritması uygulanmıştır. İki aşamadan oluşan ikinci sezgiselde ise kapsanmayan hedef sayısını minimize eden bir algoritma sunulmuştur. Algoritmalarda,

kümelerdeki farklı algılayıcı sayıları için kümelerin algılayamama oranları karşılaştırılmış ve çıkan sonuçlar analiz edilmiştir.

2. BÖLÜM

KAPSAMA PROBLEMLERİ VE KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

2.1 Kapsama Problemleri

Çoğu yer seçimi probleminde müşterilere hizmet sunumu, müşteriler ile atandıkları tesisler arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bazı yer seçimi problemlerinde ortalama uzaklıklar en küçüklenmeye çalışılırken, bazı durumlar için bu amaç uygun değildir. Genellikle hedefler (müşteriler) en yakın mesafedeki tesise atanırlar. Bir tesisin bir hedefi kapsayabilmesi için kapsama mesafesi içinde olması gerekmektedir; aksi takdirde hedeflerin taleplerini karşılayamaz. Bu durum göz önüne alındığında kapsama kavramı, bir tesisin bir müşteriye hizmet edebilmesi için tesis ile müşteri arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişebilmektedir [9].

Çoğu zaman bir talep düğümü ile tesis arasındaki en kısa yol uzunluğu kapsama uzaklığından daha küçük ya da eşitse, taleplerin kapsandığı söylenir. Tek bir kapsama uzaklığı, tüm talep düğümleri için kullanılabilir ya da kapsama uzaklığı hem kapsanan talep düğümlerine hem de aday tesis yerlerine bağlı olabilir[10].

Kapsama problemleri, yer seçimi problemlerinin çözümleri ve formülasyonları açısından,

- Küme Kapsama Modeli (The Set Covering Model) ve
- En Fazla Alan Kapsama Modeli (The Maximum Covering Location Model) olarak ayrılabilmektedir.

Ayrıca bu modellerin çift kapsama [25], yedek kapsama [16], güvenilir kapsama [28] vb. çeşitleri de mevcuttur.

2.1.1 Küme Kapsama Modeli

Küme Kapsama problemi, her talep noktasının en az bir tesis tarafından kapsandığı ve sınırlı aday tesis yerleşimleri arasından en küçük maliyetli tesis kombinasyonunun bulunması problemidir. Tipik uygulamalarından bazıları, acil yardım istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi, algılayıcıların yerlerinin belirlenmesi, baz istasyonu yerlerinin belirlenmesi, talebi karşılamak üzere arz noktalarının belirlenmesidir. Örneğin, afet yardım zincirlerinde her bir potansiyel talep noktasına, bir hedef cevap zamanı içinde bir acil yardım istasyonu tarafından ulaşılabilmelidir. Yani her talep noktası bir acil yardım istasyonunun kapsama uzaklığı içinde olmalıdır [10].

Kapsanması gereken N tane noktanın olduğu ve M tane küme/tesis alternatifinin olduğu bir şebeke için şu şekilde modellenmiştir;

İndisler:

i: $talep\ noktası\ indisi \quad i = 1,2,\dots,N$

j: $küme\ indisi \quad j = 1,2,\dots,M$

Parametreler:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & j\ noktasında\ açılacak\ tesis/küme\ i\ noktasını\ kapsıyorsa \\ 0 & kapsamıyorsa \end{cases} \qquad \forall i,j$$

$$f_j = j\ noktasına\ bir\ tesis\ açmanın\ sabit\ maliyeti \quad \forall j$$

Karar değişkenleri:

$$x_j = \begin{cases} 1 & j\ noktasına\ tesis/küme\ açılırsa \\ 0 & açılmazsa \end{cases} \qquad \forall j$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Min \ \sum_j f_j * x_j$$

Kısıtlar:

$$\sum_j a_{ij} * x_j \geq 1 \qquad \forall i \qquad (2.1)$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \qquad (2.2)$$

Amaç fonksiyonu seçilecek tesislerin toplam maliyetini en küçüklemeyi gerektirir. Kısıt seti (2.1) her i talep noktasının en az bir tesis/küme tarafından kapsanmasını garanti etmektedir. Kısıtın sağ tarafındaki değer, i talep noktasını kapsayacak tesis/küme sayısını ifade etmektedir. Kısıt seti (2.2) $\boldsymbol{x}$ değişkenini 0-1 olarak tanımlar.

2.1.2 En Büyük Alan Kapsama Modeli

Bazı problemlerde küme kapsama modelinin bütün noktaları kapsama şartı sağlanmayabilir. Örneğin, sınırlı bir bütçe varsa ya da açılacak tesis/küme sayısı üzerinde bir üst sınır varsa kapsama kısıtı problemi çözülemez hale getirebilir. Bu nedenle, kaynak kısıtlamaları olan ve maksimum düzeyde talebi karşılayacak tesis yerlerini seçmeyi amaçlayan bir maksimum kapsama tipi modeli kullanmak daha uygundur [10].

En büyük kapsama alanı probleminde amaç, belirli bir coğrafyada mevcut olan hedeflerin en fazlasına ulaşabilecek tesis/küme yeri yerleşimini bulmaktır. Bu problemlerde tesis sayısı kısıtlaması vardır. Maliyet, arazinin yapısı, eldeki mevcut personel ve teçhizat yönünden veya benzeri kısıtlardan dolayı konuşlanabilecek tesis sayısı bellidir. Amaç bu tesislerin yerleştirmesini yaparken en fazla sayıda hedefi kapsamaktır.

En büyük kapsama alanı problemlerinde hedeflenen bütün noktalar da kapsandığı takdirde problem kapsama alanı problemi biçimine dönüşmüş olur [9].

N tane noktanın ve M tane küme/tesis alternatifinin olduğu bir şebeke için en fazla P tane tesis açmak mümkün olduğunda en büyük kapsama alanı modeli şu şekildedir;

İndisler:

$i: talep\ noktası\ indisi \quad i = 1,2, \dots, N$

$j: küme\ indisi \quad j = 1,2, \dots, M$

Parametreler;

$h_i = i\ noktasındaki\ talep \quad \forall i$

$P = kurulacak\ tesis\ sayısı$

Karar değişkenleri;

$$z_i = \begin{cases} 1 & i\ noktası\ kapsanıyorsa \\ 0 & kapsanmıyorsa \end{cases} \quad \forall i$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & j\ noktasına\ tesis/küme\ açılırsa \\ 0 & açılmazsa \end{cases} \quad \forall j$$

Amaç Fonksiyonu:

$$Max\ \sum_i h_i * z_i$$

Kısıtlar:

$$z_i \leq \sum_j a_{ij} * x_j \qquad \forall i \qquad (2.3)$$

$$\sum_j x_j \leq P \qquad \forall j \qquad (2.4)$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \qquad (2.5)$$

$$z_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \qquad (2.6)$$

En büyük alan kapsama modelinin amaç fonksiyonu, toplam kapsanan talebi en büyüklemeyi gerektirir. Kısıt seti (2.3) en önemli kısıttır. Şayet i noktasındaki talep kapsanacaksa, kapsama alanında bir j noktasına tesis kurma zorunluluğunu ifade eder. Kısıt seti (2.4) konuşlanabilecek veya kurulabilecek olan tesis sayısının en fazla P adet olmasını sağlar. Kısıt setleri (2.5) ve (2.6) ise değişkenleri tanımlar.

2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlar

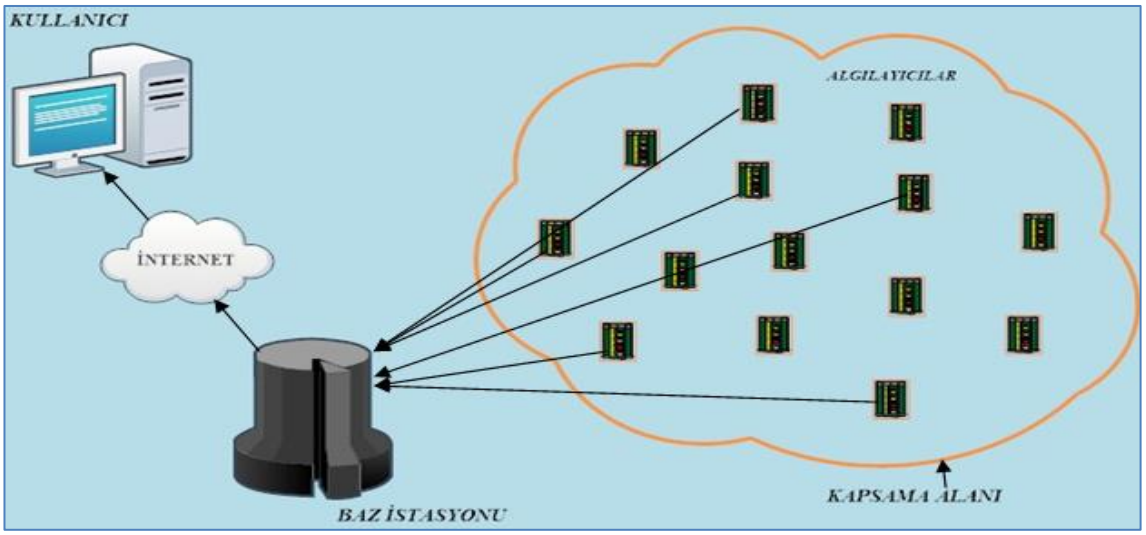
Kapsama problemleri aynı zamanda algılayıcılardan oluşan şebekeler içinde temel oluşturmaktadır. Belirli bir bölgeyi gözlem altında bulundurmak için algılayıcılar yerleştirilmektedir. Kapsama kısıtı bu şebekeler içinde geçerlidir. Yani, belirlenen her noktanın en az bir algılayıcının kapsama alanında olması gereklidir.

2.2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağların Yapısı

KAA'lar belirli bir bölgedeki basınç, sıcaklık, nem, belirli türdeki objelerin varlığını veya yokluğunu, gürültü seviyesi gibi kapsanacak alandaki çevreyle ilgili verileri algılayan, algılanan verileri işleyen ve işlenmiş veriyi ileten bir sistemdir. KAA'lar, çok sayıda sınırlı-enerjiye sahip, düşük maliyetli, çok fonksiyonlu algılayıcılardan ve

sınırsız enerjiye ve işlem kapasitesine sahip daha gelişmiş baz istasyonlarından oluşmaktadır [17].

Kablosuz iletişim ve mikro-elektronik teknolojisi alanlarındaki son gelişmeler KAA'lara olan ilgiyi artırmıştır. Belirli bir alanın kapsanması ve sürekli izlenmesi için KAA'lardaki algılayıcıların alana dağıtılması ile bir algılama ağ sistemi oluşturulması gerekir. Bu algılayıcılar ilgili alanı sürekli izleyerek çevresinden topladığı bilgi ile etkin bir izleme yöntemi sağlar.



Şekil 1: Kablosuz Algılayıcı Ağların Yapısı

KAA'lar farklı algılayıcı türlerinden oluşmaktadır. Algılayıcılara bu farklılığı kazandıran özellikleri yerleştirildikleri alandan algıladıkları bilgilere göre değişmektedir. Kapsanan alandan algıladıkları bilgiler aşağıdaki gibidir;

- Sıcaklık
- Nem
- Taşıt hareketleri
- Işıklandırma durumu
- Basınç
- Toprak hareketleri
- Gürültü seviyeleri
- Bazı türdeki objelerin varlığı veya yokluğu
- Objelerin boyutu, hızı ve yönü vs [18].

Ayrıca KAA'ların yapısında bulunan algılayıcıların temel bileşenleri algılayıcı birim, işlem birimi, alıcı-verici birim, anten ve güç birimidir. Algılayıcı birim; algılayıcının ana bileşenidir. Kapsama alanı içerisindeki herhangi bir nesne veya bir olay algılama işlemi yapılır. İşlemci birimi; işlemci birimi programlanabilir bir mikro denetleyicidir. İşleme birimi; ilgili aygıta kontrol komutları göndererek algılayıcının bütün işlemlerini kontrol eder. Alıcı-verici birim; alıcı-verici, veri iletimi ve alımı görevlerini yerine getiren bir aygıttır. Bu aygıt sayesinde algılayıcı düğüm ağa bağlanarak diğer düğümlerle haberleşebilir. Bu haberleşmeyi gerçekleştirebilmesi için de antene ihtiyacı vardır. Güç birimi; bu birim algılayıcıya enerji sağlayan birimdir. Üzerinde sınırlı enerjisi olan bir pil bulunur.

Bir kablosuz algılayıcı algılama yaparken, veri iletişimi yaparken ve veri işlerken enerji harcar. Bunların içinde en fazla enerji gerektiren işlem veri iletişimidir. Bu nedenle kablosuz algılayıcı ağların araştırma alanlarının en önemlilerinden biri veri iletişimi yaparken enerjiyi en az şekilde kullanmanın yolunu bulmaktır [17].

2.2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağların İletişim Yapısı

Algılayıcılar, bir algılayıcı alanına genellikle rastgele dağıtılmaktadır. Algılayıcı alanına dağıtılan her bir algılayıcının veri toplama ve bu toplanan verileri baz istasyonlarına rotalama ile iletme yeteneklerine sahiptir. Baz istasyonuna gelen veriler internet veya uydu aracılığı ile son kullanıcılara iletir [4].

KAA'ların tasarımında önemli bazı faktörler vardır. Bu faktörler; hata toleransı, ölçeklenebilirlik, maliyeti, donanım kısıtları, algılayıcı ağ topolojisi, çevre, iletişim ortamları ve enerji tüketimidir.

Hata toleransı; kapsama alanına yerleştirilen bazı algılayıcıların arızalanması, enerjilerinin tükenmesi, fiziksel arıza veya çevresel etkilerden dolayı ağla iletişimi kopabilir. Algılayıcıların bu arızası bütün ağ yapısını etkilemez ve bu hata toleransı veya güvenilirlik olarak ifade edilmektedir.

Ölçeklenebilirlik; yapılan uygulamaya bağlı olarak bir algılayıcı alanına yüzlerce veya binlerce algılayıcı yerleştirilebilir ve bu yerleştirilen her bir algılayıcının iletişim aralığı içerisindeki nod sayısı ölçeklenebilirlik olarak ifade edilmektedir.

Maliyet; algılayıcı ağlar, çok fazla algılayıcıdan oluştuğu için, tek bir algılayıcının maliyeti bütün ağın toplam maliyeti açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle her bir algılayıcın maliyeti düşük olmalı ve optimum algılayıcı sayısı kapsama alanına yerleştirilmelidir.

Donanım kısıtları; Bir kablosuz algılayıcının temel bileşenleri algılayıcı birim, işlem birimi, alıcı-verici birim, anten ve güç birimi olarak söylenebilir.

Algılayıcı ağ topolojisi; çok sayıda algılayıcının yerleştirilmesi dikkatli bir topoloji yönetimi gerektirmektedir ve bu topoloji yöntemi araştırılmış ve 3 farklı aşamadan oluştuğu saptanmıştır; yerleştirme öncesi ve yerleştirme aşaması, yerleştirme sonrası aşama ve ek algılayıcı yerleştirme aşaması.

Çevre; algılayıcılar genellikle gözlemlenecek bir olgu için biyolojik veya kimyasal atık içeren bir alan, düşman hattındaki savaş alanına, okyanus altına, ev veya binalara yerleştirilebilirler.

İletim ortamı; çok sekmeli (multihop) iletime sahip bir algılayıcı ağında, algılayıcılar kablosuz kanallarla birbirlerine bağlıdır. Bu bağlantılar radyo, kızılötesi veya optik duyucularla yapılmaktadır [4].

2.2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları

KAA'lardaki teknolojik gelişmelerin katkısı ile birlikte geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur. Bu uygulama alanlarını aşağıdaki gibi kategorize edilmektedir [17];

Askeri alandaki uygulamalar

KAA'lar askeri alanda; dost kuvvetlerin donanım ve cephanelerinin izlenmesi, savaş alanının izlenmesi, düşman kuvvetlerinin ve bölgelerinin izlenmesi, savaşların verdiği zararların değerlendirilmesi, nükleer, kimyasal ve biyolojik saldırıların algılanması gibi uygulama alanlarına sahiptir.

Çevresel alandaki uygulamalar

KAA'lar, orman yangınlarının tespiti, sel baskınlarının algılanması, çevrenin biyolojik çeşitliliğinin haritalandırılması ve zirai alanda geniş uygulamalar sağlamaktadır.

Sağlık alandaki uygulamalar

Hastaların fizyolojik verilerinin doktorlar tarafından uzaktan izlenmesi, bir hastane içindeki doktor ve hastaların izlenmesi ve takibi, hastanelerdeki ilaç yönetimi gibi bir çok sağlık alanında KAA'lar uygulama kolaylıkları sağlamaktadır.

Ayrıca KAA'lar yukarıda bahsedilen uygulama alanları dışında akıllı ev uygulamaları ve buralarda kullanılan otomasyonlar ile diğer ticari uygulama alanlarına da sahiptir.

2.2.4 Algılayıcıların Kapsama Modelleri

KAA'larda algılama kapasitesi ve kalitesi doğrudan algılayıcı ile hedef nokta arasındaki geometrik ilişkiyle ölçülmektedir. İki boyutlu bir alanda algılayıcı ile hedef nokta arasındaki Öklid uzaklıkla formülize edilerek kapsama alanı belirlenmektedir. İki boyutlu bir alanda, bir j noktasındaki hedef ile i noktasındaki algılayıcı arasındaki Öklid uzaklık d_{ij} aşağıda belirtilen fonksiyon ile ifade edilmektedir [4];

$$d_{ij} = \sqrt{(i_1 - j_1)^2 + (i_2 - j_2)^2} \tag{2.7}$$

Literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında birçok çalışmada 0-1 değişkenli disk kapsama modeli uygulanmıştır. Bu modelde kapsama modeli, bir j noktasındaki hedef ile i noktasındaki algılayıcı arasındaki Öklid uzaklık d_{ij} ile algılayıcının algılama alanı içindeki hedefleri algılama aralığı r arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & eğer\ d_{ij} < r\ ise\ algılayıcı\ hedefi\ kapsıyordur \\ 0 & eğer\ d_{ij} \geq r\ \ ise\ algılayıcı\ hedefi\ kapsamıyordur \end{cases} \tag{2.8}$$

Yukarıdaki fonksiyon (2.8), algılayıcının yerleştirildiği noktanın merkezinden algılama aralığı r yarıçapında bir çember içindeki hedef noktalarını kapsadığını ifade etmektedir.

Algılayıcıların kapsama modeli için yapılan farklı çalışmalarda ise algılama olasılıksal olarak ifade edilmektedir ve kapsama fonksiyonu modeli aşağıdaki gibidir.

$$a_{ij} = \begin{cases} e^{-a*d_{ij}} & eğer\ d_{ij} < r\ ise\ e^{-a*d_{ij}}\ olasılıkla\ kapsıyordur \\ 0 & eğer\ d_{ij} \geq r\ ise\ \ kapsamıyordur \end{cases} \quad (2.9)$$

Yukarıdaki fonksiyonda (2.9);

θ; Algılayıcının algılama birimini ifade eden parametredir (algılayıcının bulunduğu ortam şartları (dağlar, bitki örtüsü vb.) zorlaştıkça azalır).

KAA'larda algılayıcıların kapsama modeli fonksiyonları genel olarak yukarıda bahsedilmiştir. Bu fonksiyonlar dışında farklı formülasyonlarda mevcuttur, ancak bu çalışmada sadece iki formülasyon kullanılmıştır.

3. BÖLÜM

PROBLEMİN TANIMI

Bu bölümde, kablosuz algılayıcı ağların ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan iki problem ve bu problemlerin matematiksel modelleri sunulmuştur. Birinci problemde kapsama alanına rastgele dağıtılmış algılayıcıların kapsama aralığı içindeki hedefleri tam kapsadığı kabul edilmiştir. İkinci problemde ise kapsama alanına rastgele yerleştirilmiş algılayıcıların hedefleri olasılıksal kapsadığı kabul edilmiştir. Bu sebeple hedeflerin belirli bir güvenilirlik düzeyinde kapsanması için güvenilirlik kısıtı eklenmiştir.

3.1 Problemin Varsayımları

Kablosuz algılayıcı ağların ömrünü en büyüklemeyi amaçladığımız sistemle ilgili varsayımlar aşağıdaki gibidir:

1. Bir kablosuz algılayıcı ağ; N tane algılayıcı, kapsama alanındaki M tane hedef ve bir tane baz istasyonundan oluşmaktadır. T hedefler kümesini, SN ise algılayıcılar kümesini ifade etmektedir.

2. Kapsama alanı iki boyutlu $(B \times B)$ ızgara yapıya sahiptir.

3. Izgara yapılı kapsama alanı üzerindeki her köşe nokta farklı bir hedefi ifade etmektedir. Dolayısıyla $(B + 1) \times (B + 1) = M$ tane hedef vardır.

4. Her algılayıcı, ızgara yapılı kapsama alanına rastgele dağıtılmıştır.

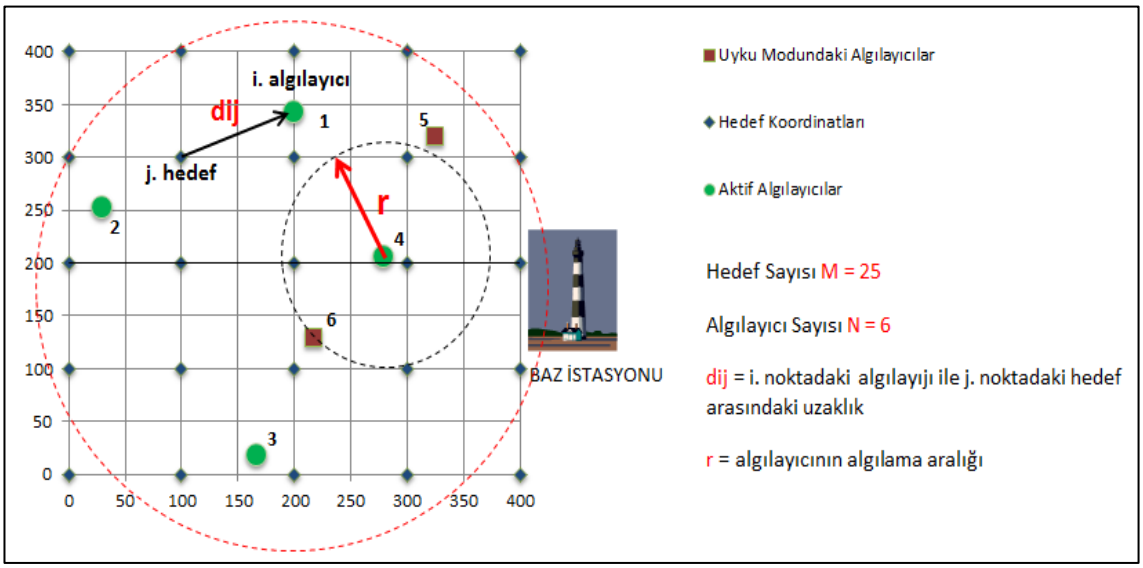
5. Baz istasyonunun kapsama alanı içindeki yeri önceden belirlenmiş ve sınırsız enerjiye sahiptir. Ayrıca baz istasyonu bütün algılayıcılar ile iletişim kurma özelliğine sahiptir ve algılayıcıların çevrelerinden elde ettikleri verileri toplayıp son kullanıcılara iletmektedir.

6. Her algılayıcı dairesel olarak algılama yapmaktadır ve farklı algılama yarıçapına (r) sahip olabilir.

7. Her algılayıcının enerji ihtiyacı üzerinde bulundurdukları pillerden sağlanmaktadır. Dolaysıyla bu pillerin kendini şarj etme özelliği yoktur ve ayrıca değiştirme olanağı olmadığından enerjileri sınırlıdır.

8. Her algılayıcı bir birim süre ömre ($L = 1$) sahiptir. Algılayıcıların uyku durumunda harcadığı enerji, aktif durumunda harcadığı enerjiden çok düşük olduğundan gerekli değilse uyku moduna alarak ağ ömrü uzatılmaktadır.

9. En iyi koşulda sadece bir algılayıcı aktif, diğerleri pasif olduğunda, ağ maksimum K birim süre ömre sahip olabilir. Belli bir sürede eş zamanlı olarak aktif olan algılayıcılar kümesi $A_k \in S$ ile gösterilsin. Bu algılayıcıların aktif olduğu süre t_k olduğunda, ağ ömrü $\sum_{\forall A_k \in S} t_k$ olur.



Şekil 2: Kablosuz ağ yapısı elemanları ve algılama durumu

Şekil 2'de kablosuz ağ yapısı elemanları ve algılama durumu gösterilmiştir. Bu örnekte birinci kümede 4 algılayıcının aktif durumda 2 algılayıcının uyku durumunda olduğu görülmektedir. Yani $A_1 = \{1, 2, 3, 4\}$ olmak üzere 4 algılayıcı içermektedir. Bu 4 algılayıcı $L = 1$ zaman birimi çalışmasıyla A_1 kümesinin ömrü $t_1 = 1$ olur ve tam kapsamada sağlanmıştır. İkinci kümede ise $A_2 = \{5, 6\}$ algılayıcılar aktif durumdadır. Dolaysıyla bunlarda $L = 1$ birim süre çalışırsa $t_2 = 1$ olacaktır. Yani ağın ömrü $t_1 + t_2 = 2$ olarak belirlenmektedir. Oysaki bütün algılayıcılar aktif durumda olsaydı sadece $A_1 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ olacağından ağın ömrü 1 birim olacaktı.

Gelecek bölümde verilen her iki modelin de amaç fonksiyonu kablosuz algılayıcı ağların ömrünü $\sum_{\forall A_k \in S} t_k$ en büyüklemektir. Ancak S kümesinin eleman sayısı bilinmediğinden bir üst sınır olarak K sayısı kullanılmıştır. Yani en iyi senaryoda her algılayıcı 1 birim süre aktif kalırsa, en fazla $|S| = K$ tane eleman olacaktır. Matematiksel model hangi algılayıcıların hangi A_k kümesinde aktif durumda olacağına ve A_k kümesinin ömrüne karar vermektedir. Algılayıcılar birbirinin eşleniği olduğundan hangi A_k kümesine atanırlarsa o kümede 1 birim süre aktif olmaktadırlar. Dolayısıyla bu kümenin ömrü $t_k = 1$ birim olacaktır. Matematiksel model maksimum sayıda küme açıp ve bu kümelerde bütün hedeflerin kapsanmasını sağlayacak minimum sayıda algılayıcıyı aktif hale getirmektedir.

Teorem 1: Eğer bütün algılayıcılar özdeş ise ve $L = 1$ birim süre ömre sahipse, herhangi bir A_k $\forall k = 1,2, \dots, K$ kümesinin ömrü ya 0.0 yada 1.0 süredir.

İspat: Farz edelim ki optimum çözümde bir A_k^* kümesinin ömrü $t_k^* < 1.0$ olsun. Dolaysıyla bu kümede aktif durumda olan algılayıcılar ömürlerinin t_k^* kadar bölümünü tüketeceklerdir. Ancak bundan daha iyi amaç fonksiyonuna sahip bir uygun çözüm vardır ki $t_k^* = 1.0$ olmasıdır ve böylece bu kümede aktif durumda olan algılayıcılar enerjilerinin tamamını tüketeceklerdir. Dolaysıyla bu çözümün varlığı A_k^* kümesinin optimum çözümde $t_k^* < 1.0$ önce sahip olmasını kabul etmez.

3.2 Ağ Ömrünü En Büyükleyen Mükemmel Küme Kapsama Problemi (Problem 1)

Bu bölümdede yukarıda tanımlanan varsayımlara sahip bir ağ için ağ ömrünün en büyüklenmesi problemi ele alınmıştır. Bir algılayıcının kendisinden $\leq r$ mesafesinde olan bütün hedefleri hiçbir veri kaybı olmadan algılayabildiği kabul edilmektedir. Bu durum *mükemmel kapsama* olarak adlandırılmıştır. Kablosuz algılayıcı ağların ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan mükemmel kapsamalı matematiksel bir model sunulmuştur. Modelin indisleri, parametreleri ve karar değişkenleri şunlardır;

İndisler:

i: $algılayıcı\ indisi \quad i = 1,2, \dots, N$

j: $hedef\ noktası\ indisi \quad j = 1,2, \dots, M$

k: $Aktif\ algılayıcı\ kümesi\ indisi \quad k = 1,2,\dots,K$

Parametreler:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & i\ noktasındaki\ algılayıcı\ j\ noktasındaki\ hedef i\ kapsıyorsa \\ 0 & kapsamıyorsa \end{cases} \quad \forall i,j$$

Karar değişkenleri:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & i\ noktasındaki\ algılayıcı\ A_k\ kümesine\ atanırsa \\ 0 & atanmazsa \end{cases} \quad \forall\ i,k$$

$t_k = A_k\ kümesinin$ ömrü $\quad \forall k$

Model 1

Amaç Fonksiyonu:

$$Max\ \sum_{k=1}^{K} t_k \qquad (3.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K} x_{ik} * t_k \leq 1 \qquad \forall i \qquad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^{N} a_{ij} * x_{ik} \geq 1 \qquad \forall j,k \qquad (3.3)$$

$$0 \leq\ t_k \leq 1 \qquad \forall k \qquad (3.4)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i,k \qquad (3.5)$$

Model 1'in amaç fonksiyonu ağ ömrümü en büyüklemektir. Kısıt seti (3.2) bir algılayıcının bir A_k kümesine atanırsa t_k süresi kadar aktif kalacağını ve toplamda en fazla 1 birim süre aktif kalabileceğini belirtmektedir. Kısıt seti (3.3) her hedefin her A_k kümesinde en az bir algılayıcı tarafından kapsanmasını gerektiren klasik kapsama kısıtıdır. Kısıt setleri (3.4) ve (3.5) karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

Ancak Model 1 kısıt seti (3.2)'den dolayı doğrusal değildir. Bu kısıt setini doğrusal hale getirmek için yeni bir $y_{ik} = x_{ik} * t_k$ karar değişkeni tanımlanır. Burada y_{ik} $i.$ algılayıcının A_k kümesine atanırsa aktif kalma süresini göstermektedir. Bu durumda $y_{ik} = 0$ ya da $y_{ik} = t_k$ olur. Bu yeni karar değişkeni ya-yada kısıtları ile modele entegre edilebilir.

Ek parametreler:

$$M = Büyük\ bir\ sayı\ \ (en\ büyük\ algılayıcı\ ömründen\ büyük\ olması\ yeterli)$$

Ek karar değişkenleri:

$$y_{ik} = \ i.algılayıcının\ A_k \text{ kümesine atanırsa aktif kalma süresi} \qquad \forall\, i,k$$

$$q_{ik} = \begin{cases} 1 & y_{ik} = 0\ olduğunda \\ 0 & diğer\ durumda \end{cases} \qquad \forall\, i,k$$

Doğrusal Model 1

Amaç Fonksiyonu:

$$Max\ \sum_{k=1}^{K} t_k \tag{3.6}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \tag{3.7}$$

$$\sum_{i=1}^{N} a_{ij} * y_{ik} \geq t_k \qquad \forall j,k \tag{3.8}$$

$$y_{ik} \leq \ t_k \qquad \forall i,k \tag{3.9}$$

$$t_k - y_{ik} \leq M * q_{ik} \qquad \forall i,k \tag{3.10}$$

$$y_{ik} \leq M * (1 - q_{ik}) \qquad \forall i,k \tag{3.11}$$

$$y_{ik} \geq 0 \qquad \forall i,k \tag{3.12}$$

$$0 \leq \ t_k \leq 1 \qquad \forall k \tag{3.13}$$

$$q_{ik} \in \{0\ ,1\} \qquad \forall i,k \tag{3.14}$$

Doğrusal model 1'in amaç fonksiyonu Model 1'de olduğu gibi ağ ömrümü en büyüklemektir. Kısıt seti (3.7) bir algılayıcının atandığı bütün A_k kümelerinde en fazla 1 birim süre aktif kalacağını belirtmektedir. Kısıt seti (3.8) her hedefin bir A_k kümesinde en az t_k süresi kadar kapsanmasını gerektiren klasik kapsama kısıtıdır ve böylece bütün hedeflerin ağ ömrü boyunca mükemmel kapsanması sağlanır. Kısıt seti (3.9) $i.$ algılayıcının A_k kümesindeki ömrünün en fazla t_k süresi kadar olacağını ifade eder. Ancak kısıt seti (3.10)'de q_{ik} değişkeni 0 değerini aldığında (3.9) ve (3.10) kısıt setlerine göre $y_{ik} = t_k$ değerini alacaktır. Benzer şekilde (3.11) ve (3.12) kısıt setleri

q_{ik} değişkeni 1 değerini aldığında $y_{ik} = 0$ olmasını sağlayacaktır. Kısıt seti (3.13) t_k değişkeninin alt ve üst sınırlarını tanımlar. Kısıt seti (3.14) ise q_{ik} değişkeninin tamsayı kısıtıdır.

3.3 Ağ Ömrü En Büyükleyen Olasılıksal Küme Kapsama Problemi (Problem 2)

Bu problemde mükemmel kapsama kabullenmesi kaldırılarak algılayıcının bulunduğu çevre koşullarına ve arızalanma durumuna göre olasılıksal kapsama yapabilmesi durumu ele alınmıştır. Sunulan modele güvenilir kapsama kısıtı eklenmiştir. Dolayısıyla a_{ij} parametresi, i noktasındaki algılayıcının j noktasındaki hedefi algılama olasılığıdır ve genel olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [32];

$$a_{ij} = \begin{cases} e^{-\theta d_{ij}} & eğer\ d_{ij} < r\ ise \\ 0 & diğer\ durumda \end{cases} \tag{3.15}$$

Eşitlik (3.15)'de bir algılayıcının bir hedef noktasını kapsaması olasılığı, aralarındaki uzaklığa ve bir θ parametresine bağlıdır. θ değeri, algılayıcıların kalitesine ve uzaklık arttıkça algılama olasılığının düşmesine bağlıdır. Kapsama alanında bir i noktasında bulunan algılayıcı ile bir j noktasındaki hedef arasındaki d_{ij} mesafesi ne kadar küçük ise algılama olasılığı o derecede yüksektir.

Algılayıcıların dairesel bir alanda algılama yaptıklarını kabul ettiğimize göre eğer algılama alanının sınırında yer alan (yani algılayıcıdan r metre uzakta olan) bir hedefin %90 olasılıkla algılanmasını istiyorsak seçilmesi gereken algılayıcı, $\theta < \frac{-\ln(0.9)}{r}$ değerine sahip olmalıdır.

Kablosuz algılayıcı ağların ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan olasılıksal kapsamalı ve güvenilirlik kısıtlı ikinci matematiksel model aşağıda verilmiştir.

Ek parametreler:

$$a_{ij} = \begin{cases} e^{-\theta d_{ij}} & eğer\ d_{ij} < r\ ise \\ 0 & diğer\ durumda \end{cases}$$

$\alpha =$ İzin verilen en küçük algılama olasılığı

Model 2

Amaç Fonksiyonu:

$$Max \ \sum_{k=1}^{K} t_k \tag{3.16}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K} x_{ik} * t_k \leq 1 \qquad \forall i \tag{3.17}$$

$$1 - \prod_{i=1}^{N} (1 - a_{ij})^{x_{ik}} \geq \alpha \qquad \forall j,k \tag{3.18}$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i,k \tag{3.19}$$

$$0 \leq \ t_k \leq 1 \qquad \forall k \tag{3.20}$$

Model 2'nin amaç fonksiyonu ağ ömrümü en büyüklemektir. Kısıt seti (3.17) bir algılayıcının bir A_k kümesine atanırsa t_k süresi kadar aktif kalacağını ve toplamda en fazla 1 birim süre aktif kalabileceğini belirtmektedir. Kısıt seti (3.18) her hedefin her A_k kümesinde en az α güvenilirlik düzeyinde belirli bir olasılıkla kapsanması gerektiğini ifade eder. Kısıt setleri (3.19) ve (3.20) karar değişkenlerini ve t_k değişkeninin alt ve üst sınırlarını tanımlamaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlarda bir j noktasında bulunan hedefin i noktasında bulunan bir algılayıcı tarafından kapsanmama olasılığı $(1 - a_{ij})$ ile ifade edilir. Ayrıca kapsama alanlarında bir hedef birden fazla algılayıcı tarafından kapsanabilmektedir. Bu durumda j noktasında bulunan bir hedefin bir A_k kümesinde toplam kapsanmama olasılığı $\prod_{i=1}^{N} (1 - a_{ij})^{x_{ik}}$ 'dir. Yani A_k kümesinde aktif olan algılayıcılardan j noktasındaki hedefi algılama olasılıkları toplamıdır. Böylece j noktasında bulunan hedefin toplam kapsanma olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$1 - \prod_{i=1}^{N} (1 - a_{ij})^{x_{ik}} \tag{3.21}$$

Çalışmamızda, bütün hedeflerin belirli bir α güvenilirlik düzeyinin üzerinde kapsanması gerektiğini ifade ettik böylece güvenirlik kısıtımız her j noktasında bulunan hedef için aşağıdaki gibidir;

$$1 - \prod_{i=1}^{N} (1 - a_{ij})^{x_{ik}} \geq \alpha \qquad \forall j,k \tag{3.22}$$

Bu model (3.17) ve (3.18) kısıtlarından dolayı doğrusal değildir. Kısıt (3.18) eşitsizliğin her iki tarafının logaritması alınarak doğrusal olmaktadır.

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ik} * \ln(1 - a_{ij}) \leq \ln(1 - \alpha) \tag{3.23}$$

Kısıt seti (3.17) ise Doğrusal Model 1'de verildiği gibi $y_{ik} = x_{ik} * t_k$ karar değişkeni tanımlanır ve Doğrusal Model 1'de olduğu gibi modele uygulanır. Ancak (3.23) eşitsizliğinin her iki tarafı t_k değişkeni ile çarpıldıktan sonra (bu durumda $t_k \geq 0$ olduğu için eşitsizlik değişmez) değiştirme işlemi yapılır ve aşağıdaki son durumu elde edilir.

$$\sum_{i=1}^{N} y_{ik} * \ln(1 - a_{ij}) \leq \ln(1 - \alpha) * t_k \tag{3.24}$$

Doğrusal model 2 aşağıda verilmiştir.

Doğrusal Model 2

Amaç Fonksiyonu:

$$Max \sum_{k=1}^{K} t_k \tag{3.25}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \tag{3.26}$$

$$\sum_{i=1}^{N} y_{ik} * \ln(1 - a_{ij}) \leq \ln(1 - \alpha) * t_k \qquad \forall j, k \tag{3.27}$$

$$y_{ik} \leq t_k \qquad \forall i, k \tag{3.28}$$

$$t_k - y_{ik} \leq M * q_{ik} \qquad \forall i, k \tag{3.29}$$

$$y_{ik} \leq M * (1 - q_{ik}) \qquad \forall i, k \tag{3.30}$$

$$y_{ik} \geq 0 \qquad \forall i, k \tag{3.31}$$

$$0 \leq t_k \leq 1 \qquad \forall k \tag{3.32}$$

$$q_{ik} \in \{0, 1\} \qquad \forall i, k \tag{3.33}$$

Doğrusal model 2'in amaç fonksiyonu Model 2'de olduğu gibi ağ ömrümü en büyüklemektir. Kısıt seti (3.26) bir algılayıcının atandığı bütün A_k kümelerinde en

fazla 1 birim süre aktif kalacağını belirtmektedir. Kısıt seti (3.27) her hedefin her A_k kümesinde en az α güvenilirlik düzeyinde bir olasılıkla kapsanması gerektiğini ifade eder. Kısıt seti (3.28) i. algılayıcının A_k kümesindeki ömrünün en fazla t_k süresi kadar olacağını ifade eder. Ancak kısıt seti (3.29)'de q_{ik} değişkeni 0 değerini aldığında (3.28) ve (3.29) kısıt setlerine göre $y_{ik} = t_k$ değerini alacaktır. Benzer şekilde (3.30) ve (3.31) kısıt setleri q_{ik} değişkeni 1 değerini aldığında $y_{ik} = 0$ olmasını sağlayacaktır. Kısıt seti (3.32) t_k değişkeninin alt ve üst sınırlarını tanımlar. Kısıt seti (3.33) ise q_{ik} değişkeninin tamsayı kısıtıdır.

4. BÖLÜM

SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde, önceki bölümlerde sunulan mükemmel kapsamalı ve olasılıksal kapsamalı algılayıcı ağların ağ ömrünün en iyilenmesi problemleri için 3 farklı sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımlar literatürde iyi sonuçlar verdiği bilinen Açgözlü (Greedy) sezgiseli, Adım-adım ekleme sezgiseli ve Lagrangian temelli sezgisel yaklaşımlarıdır.

4.1 Açgözlü (Greedy) Sezgiseli

Açgözlü sezgisel yaklaşımlarının temel çalışma prensibi her adımda mevcut olan seçenekler arasından en iyi seçimi yaparak sonuçta iyi bir çözüme ulaşmaktır. Ancak yapılan bu seçimlerde sonraki aşamalar düşünülmediği için iyi çözümlerden uzaklaşma ihtimali de vardır. Açgözlü sezgiselleri genellikle başlangıç çözümü elde etmek için kullanılırlar. Bu çalışmada da uygulanan açgözlü sezgiselinin amacı en çok sayıda hedef kapsayan algılayıcıdan başlayarak bütün hedefler kapsanana kadar algılayıcıları aktif moda almaktır. Bütün hedefler kapsandığında aktif durumdaki algılayıcılardan oluşan bir küme elde edilecektir. Bu kümedeki aktif algılayıcılar 1 birim süre hayatta kalacaktır. Daha sonra başka kapsama kümeleri oluşturmak üzere geri kalan algıyacılar kullanılarak döngü tekrarlanacaktır.

Bu amaçla ilk olarak algılayıcıların algılama aralığında kapsayabildikleri hedefler bulunur ve azalan sıraya göre algılayıcılar sıralanır. En çok hedefi kapsayan algılayıcılardan başlayarak bütün hedeflerin kapsandığı algılayıcı kümeleri oluşturulur.

Model 1 için önerilen Açgözlü sezgiselinin yalancı kodu Algoritma 1'de verilmiştir. Algoritma 1'de girdiler T ve SN kümeleri, r parametresi ve **d** uzaklık matrisidir. Algoritmanın 2. ve 3. satırlarında parametrelerin başlangıç değerlerine atama yapılmıştır. Algoritmanın 4. ve 5. satırlarında ise her algılayıcının kapsadığı toplam

hedef sayısı hesaplanmıştır. Algoritmanın 6. satırında $Tot[i]$ parametresi azalan sıraya göre sıralanmıştır. 7.1 ve 7.2 satırları arasında tüm hedefler kapsanana kadar A_k kümesine algılayıcılar atanır. Bütün hedefler kapsandıktan sonra iyileştirme aşaması başlar. Bu amaçla 7.1.3 ve 7.1.4 satırları arasında A_k kümesine atanan bütün algılayıcılar birer birer kapatılarak gerekli olup olmadığı tespit edilir. Bu adımların algoritmaya eklenmesinin sebebi önceden eklenen bir algılayıcının kapsadığı hedeflerin sonradan eklenen algılayıcılarında kapsaması ve böylece atamanın gereksiz hale gelmesi olasılığının olmasıdır. Bu durum iyileşme aşamasında kontrol edilir ve algoritma ağ ömrünü çıktı olarak döndürür.

Açgözlü algoritmasının yalancı kodu Algoritma 1'de verilmiştir. Algoritmada kullanılan parametre ve değişkenler şunlardır.

Değişkenler;

$tot[i] = i.algılayıcının\ kapsadığı\ hedef\ sayısı \quad i = 1,2,\dots,N$

$remainingL[i] = i.algılayıcısının\ kalan\ enerji\ miktarı \quad i = 1,2,\dots,N$

$A_k = \ aktif\ algılayıcılar\ kümesi \quad k, k = 1,2,\dots,K$

$t_k = \ A_k\ kümesinin\ ömrü \quad k = 1,2,\dots K$

Parametreler;

$T = Hedefler\ kümesi$

$SN = Algılayıcılar\ kümesi$

$r = Algılayıcıların\ algılama\ yarıçapı$

$d_{ij} = algılayıcı\ i\ ile\ algılayıcı\ j\ arasındaki\ öklid\ uzaklık$

Algoritma 1 Açgözlü Sezgiseli

1. **Procedure** Greedy(T, SN, r, d_{ij})
2. **Ata** remainingL[i] $= 1, tot[i] = 0\ \forall i \in SN$.
3. $t_k = 0\ \forall k = 1,..,K\ ve\ Z = 0$

4. $a_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} < r \\ 0 & aski\ taktirde \end{cases} \quad \forall i \in SN, \forall j \in T$ için hesapla.
5. $Tot[i] = \sum_{\forall j \in T} a_{ij} \quad \forall i \in SN$ için hesapla.
6. Tot[i] azalan sıraya göre Tot[1]>Tot[2],…,Tot[N] şeklinde sırala.
7. **For** k = 1: K
8. **For** i = 1: N
9. **if** remainingL[i] > 0;
10. $A_k \leftarrow A_k \cup i$;
11. remainingL[i] = 0;
12. **endif**
13. **if** (Bütün hedefler kapsanıyorsa) *! İyileştirme aşaması*
14. **For** s ∈ A_k
15. $A_k \leftarrow A_k \backslash s$;
16. remainingL[i] = 1;
17. **if** (Bütün hedefler kapsanmıyorsa)
18. $A_k \leftarrow A_k \cup s$;
19. remainingL[i] = 0;
20. **endif**
21. **endfor**
22. **endif**
23. **endfor**
24. $Z \leftarrow Z + t_k$ *! Ağ ömrü hesaplanır*
25. **endfor**
26. Return Z

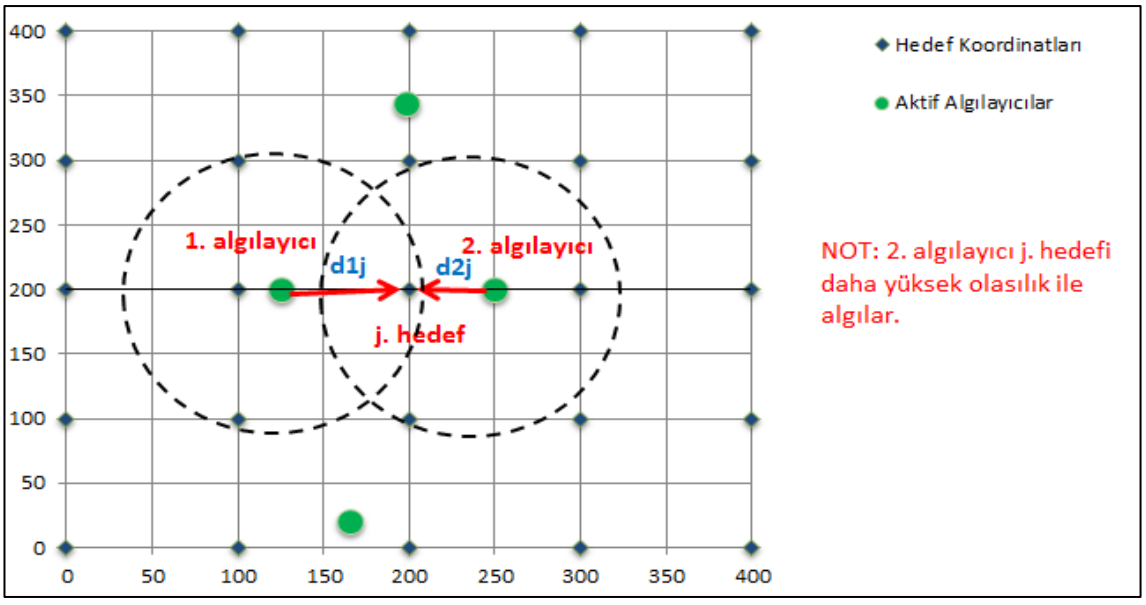
Model 2 için sunulan açgözlü sezgiselinde ilk olarak her i algılayıcısının olasılıksal kapsadığı hedef sayısı hesaplanır. Algılayıcıların bir hedefi olasılıksal kapsayabilmesi için kapsama aralığı içerisinde ve istenilen güvenilirlik düzeyinde kapsaması gerekir. Algoritma 1, model 2'nin çözümü için açgözlü sezgiseline kolaylıkla entegre edilebilir. Bu amaçla algoritmaya girdi olarak α (güvenilirlik kapsama seviyesi) parametresi eklenmeli ve Algoritma 1'deki 4. ve 5. satırlar aşağıdaki gibi güncellenmektedir.

4. $a_{ij} = \begin{cases} e^{-\theta * d_{ij}} & d_{ij} < r \\ 0 & aski\ taktirde \end{cases}$ $\forall i \in SN, \quad \forall j \in T$ için hesapla. (4.1)

5. $Tot[i] = \sum_{\forall j \in T} \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)}$ $\forall i \in SN$ için hesapla. (4.2)

Bir $j \in T$ hedefinin bir $i \in SN$ algılayıcısı tarafından en az α güvenilirlik seviyesinde algılanması için $\ln(1 - a_{ij}) \geq \ln(1 - \alpha)$ olmalıdır. Burada $\alpha < a_{ij}$ olduğu zaman $\frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)} > 1$ olacaktır. Eğer bir hedefin bulunduğu noktada kapsama olasılığı yüksek ise bu oranda artacaktır. Tot[i] değeri olarak bir algılayıcının kapsadığı hedeflerin algılama oranları, yani $\sum_{\forall j \in T} \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)}$ oranı, toplam kullanılmıştır. Bu durumda bütün hedeflerin kapsanma olasılığına göre bu oran değişecektir. Tot[i] değeri hesaplanırken bu oran kullanılmıştır.

Model 2'de açgözlü sezgiselinde $Tot[i]$ hesaplamasında (4.2) denkleminin kullanılmasının sebebi Şekil 3'de gösterildiği gibi algılayıcı j hedefini 1. algılayıcıdan daha yüksek olasılıkla algılamaktadır. (4.2) denklemi bu olasılık farkını dikkate almaktadır. Yani algılayıcı ile hedef arasındaki uzaklık (d_{ij} parametresi) ne kadar küçükse $Tot[i]$ olan katkısı o derece büyük olur.



Şekil 3: Kapsama olasılıkları farklı iki algılayıcı örnegi

Alternatif olarak $Tot[i]$ parametresi şu şekilde de hesaplana bilmektedir. Ancak hedefin ne kadar iyi algıladığı değerlendirilmez.

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \alpha < a_{ij}\ ise \\ 0 & aksi\ taktirde \end{cases} \quad \forall i \in SN, \quad \forall j \in T \tag{4.3}$$

$$Tot[i] = \sum_{\forall j \in T} \delta_{ij} \quad \forall i \in SN \tag{4.4}$$

4.2 Adım-Adım Ekleme Sezgiseli

Bu çalışmada, kablosuz algılayıcı ağların ağ ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan matematiksel modeller için geliştirilen Adım-adım ekleme sezgiselinin temeli her aşamada sadece bir küme oluşturmak ve küme oluşturamayana kadar bu işlemi bir döngü içinde tekrarlamaktır.

Bir A_k kümesine bütün hedefleri kapsayacak algılayıcılar eklendiğinde bir küme oluşmuş olacaktır ve ömrü bir birim olarak atanacak yani sadece kapsama kısıtlarının sağlanması yeterlidir. Bir sonraki kümeyi oluşturma işleminde ise daha önceden kullanılan algılayıcılar kullanılmayacaktır. Bunun için MSN (Mevcut durumda enerjisi olan algılayıcılar) kümesi tanımlanır. Kapsama kısıtlarını sağlayan algılayıcıları bulma işlemi elle manuel olarak yapılabilir. Ancak biz mümkün olan en az sayıda algılayıcı ile yapmak istiyoruz. Dolaysıyla en çok sayıda kümeyi oluşturmak mümkün olabilir. Bu amaçla sezgiselin her aşamasında aşağıda verilen AAES modeli çözülür. AAES modelinin amaç fonksiyonundaki ikinci terim küme ömrünü en büyükledikten sonra alternatif optimum çözümler arasından en az sayıda algılayıcıyı bu kümeye ekler.

$$AAES_k: \text{Max} \quad t_k - 0{,}001 * \sum_{\forall i \in MSN} y_{ik} \tag{4.5}$$

Kısıtlar:

$$y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \in MSN \tag{4.6}$$

$$\sum_{i=1}^{N} a_{ij} * y_{ik} \geq t_k \qquad \forall j \tag{4.7}$$

$$y_{ik} \leq t_k \qquad \forall i \in MSN \tag{4.8}$$

$$t_k - y_{ik} \leq M * q_{ik} \qquad \forall i \in MSN \tag{4.9}$$

$$y_{ik} \leq M * (1 - q_{ik}) \qquad \forall i \in MSN \tag{4.10}$$

$$y_{ik} \geq 0 \qquad \forall i \in MSN \tag{4.11}$$

$$0 \leq t_k \leq 1 \tag{4.12}$$

$$q_{ik} \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in MSN \tag{4.13}$$

Adım-adım ekleme sezgiselinin kaç iterasyon uygulanacağını belirlemek için bir üst sınır tahminine ihtiyaç vardır. Her iterasyonda ömrü 1 birim olan en fazla 1 küme oluşturmayı beklediğimiz için bu üst sınır aslında toplam ağ ömrü için de bir üst sınır olacaktır. Bu amaçla doğrusal model 1'e doğrusal programlama gevşetmesi uygulanır ve üst sınır bulunur.

Adım-adım ekleme sezgiselinde, doğrusal model 1'in orijinal hali ile oluşturacağı algılayıcı küme sayısı 1 olacak şekilde model, doğrusal programlama gevşetmesi uygulanmış modelin çözümünden elde edilen üst sınıra kadar döngü devam ederek bütün hedefleri kapsayacak kümeler oluşturulmaya devam eder. Adım-adım ekleme sezgiselinin yalancı kodu Algoritma 2'de verilmiştir. Algoritmada kullanılan parametre ve değişkenler şunlardır.

$K^{ust} = Doğrusal\ programlama\ gevşetmesi\ ile\ elde\ edilen$ üst sınır değeri

$MSN = Mevcut\ durumda\ enerjisi\ olan\ algılayıcılar$ kümesi

Algoritma 2 Doğrusal model 1 için Adım-adım ekleme sezgiseli

1. **Procedure** (T, SN, $\boldsymbol{a}$)
2. **1. aşama:** Başlangıç atamaları yapılır.
3. $MSN = SN$, iterasyon sayacı $k = 0$, $Z = 0$ ve $K^{ust} = 0$ olarak atanır.
4. **2. aşama:** Model 1 için doğrusal programlama gevşetmesi uygulanır ve çözülerek K^{ust} elde edilir.
5. **3. aşama:** K^{ust} sayısına kadar döngü devam eder.
6. **while** (k $< K^{ust}$)
7. **if** (uygun çözüm)
8. $AAES_k$ modelini çöz ve y_{ik}^* ve t_k^* belirle.
9. **For** $\forall i \in MSN$
10. **if** ($y_{ik}^* > 0$)
11. $MSN \leftarrow MSN \backslash i$
12. **endif**

13. **endfor**
14. $Z \leftarrow Z + t_k^*$
15. **else**
16. While döngüsünü kır.
17. **endif**
18. $k = k + 1$
19. **endwhile**
20. Return Z

Model 2 için sunulan Adım-adım ekleme sezgiselinde model 1 için sunulan sezgisele kolayca entegre edilebilir. Öncelikle Doğrusal model 2'nin gevşetme ve üst sınırı bulunur. Ayrıca sezgiselin her aşamasında çözülen $AAES_k$ modelinin kısıt seti (4.7) çıkarılıp, Doğrusal model 2'nin kısıt seti (3.7) eklenir. Böylece Algoritma 2'deki Adım-adım ekleme sezgiseli adımları model 2'ye uygulanarak çözüm elde edilir.

4.3 Lagrangian Sezgiseli

Lagrangian sezgiseli [14], tam sayılı programlama ve kombinatoryal optimizasyon problemlerini çözmek için oldukça önemli çözüm tekniklerinden biridir. Temel olarak modelde yer alan komplike kısıtların amaç fonksiyonuna bir ceza katsayısı eklenerek kaldırılması ve geriye kalan model daha kolay çözülebilme imkanına sahip olması prensibine dayalıdır. Yapılan bu gevşetme işlemine Lagrangian gevşetmesi denir. Lagrangian gevşetilmiş modelin amaç fonksiyonu orijinal modelin amaç fonksiyonu için bir üst sınır (en büyükleme türündeki problemler için) oluşturur.

Lagrangian sezgiselinde önemli bir husus hangi kısıtın gevşetileceğine karar vermektir. Sonuçta kalan kısıt setleri ile problemi çözmek kolaylaşmalıdır. Bir diğer husus ise üst sınırı en küçükleyecek ceza maliyetlerine karar vermektir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan algoritmalardan olan Subgradient algoritması her iterasyonda bir Lagrangian alt problemi çözerek üst sınırı iyileştirmeye çalışır [15]. Bu iterasyonlarda bulunan en yüksek amaç fonksiyonu değerine sahip uygun çözüm alt sınır olarak tutulur. Ceza maliyetleri gevşetilen kısıtların durumuna göre güncellenir. Belirli bir iterasyon sayısına kadar bu aşamalar tekrarlanır ve elde bulunan en iyi çözüm (alt sınır) sezgisel sonuç olarak döndürülür. Aslında burada amaç alt sınır ile üst sınır arasındaki farkı küçültmek ve optimum çözüme yaklaşmaktır.

Doğrusal model 1'de Lagrangian sezgiseli için ilk aşamada komplike kısıtlara gevşetme uygulanır. Doğrusal model 1'de 3.8 ve 3.9 kısıt setleri $\boldsymbol{\gamma}$ ve $\boldsymbol{\mu}$ maliyetleri ile cezalandırılarak amaç fonksiyonuna eklenir ve sonuçta $LR1(\gamma, \mu)$ modeli aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Eğer $\sum_{i=1}^{N} y_{ik} * a_{ij} < t_k$ olursa bu kısıt seti $\sum_{i=1}^{N} y_{ik} * a_{ij} - t_k$ kadar ihlal edilmiş olacak ve γ_{ij} parametresi ile cezalandırılıp amaç fonksiyonu değerinin düşmesine (istenmeyen şekilde) sebep olacaktır. Aynı durum amaç fonksiyonuna eklenen diğer kısıt seti içinde geçerlidir.

$$\boldsymbol{LR1}(\boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\mu}): \max \sum_{k=1}^{K} t_k + \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{J} (\gamma_{ik} * (\sum_{i=1}^{N} y_{ik} * a_{ij} - t_k)) + \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\mu_{ij} * (t_k - y_{ik}))$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i \qquad (4.14)$$

$$t_k - y_{ik} \leq M * q_{ik} \qquad \forall i, k \qquad (4.15)$$

$$y_{ik} \leq M * (1 - q_{ik}) \qquad \forall i, k \qquad (4.16)$$

$$y_{ik} \geq 0 \qquad \forall i, k \qquad (4.17)$$

$$0 \leq t_k \leq 1 \qquad \forall k \qquad (4.18)$$

$$q_{ik} \in \{0, 1\} \qquad \forall i, k \qquad (4.19)$$

Amaç fonksiyonunda bazı matematiksel düzenlemeler yapıldıktan sonra modelin son hali aşağıdaki gibi olur.

$$\boldsymbol{LR1}(\boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\mu}): \max \sum_{k=1}^{K} (1 - \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}) * t_k + \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * a_{ij} - \mu_{ij}) * y_{ik}$$

Bu modeli sadece t_k ve sadece y_{ik} değişkenlerini içerecek şekilde 2 alt modele ayırmak mümkündür. Buna göre ayrılmış modeller:

$$\boldsymbol{LR1_1}(\boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\mu}): max \sum_{k=1}^{K} (1 - \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}) * t_k$$

Kısıtlar:

$0 \leq t_k \leq 1 \qquad \forall k$

$\boldsymbol{LR1_2(\gamma,\mu)}: max \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * a_{ij} - \mu_{ij}) * y_{ik}$

Kısıtlar:

$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i$

$t_k - y_{ik} \leq M * q_{ik} \qquad \forall i,k$

$y_{ik} \leq M * (1 - q_{ik}) \qquad \forall i,k$

$y_{ik} \geq 0 \qquad \forall i,k$

$q_{ik} \in \{0\ ,1\} \qquad \forall i,k$

$LR1_1(\gamma,\mu)$ modelinin optimum çözümü açıktır. Eğer $1 - \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij} \geq 0$ ise $t_k^* = 1$ değilse $t_k^* = 0$ değerini alacaktır. Yani t_k^* değişkeni ya 0 ya da 1 değerini alacaktır. Dolaysıyla $t_k \in \{0,1\}\ \forall k$ olarak yeniden tanımlanabilir. Buna bağlı olarak y_{ik} değişkeni de 0-1 değişkenleri olarak tanımlanabilir $y_{ik} \in \{0,1\}\ \forall i,k$. Bu nedenle $LR1_2(\gamma,\mu)$modelindeki 4.15 - 4.18 kısıt setleri kaldırılıp (onlar daha önce $y_{ik} = x_{ik} * t_k$ dönüşümünü doğrusallaştırmak için eklenmişlerdi) yerine $y_{ik} \in \{0,1\}\ \forall i,k$ kısıt seti eklenmelidir. $LR1_2(\gamma,\mu)$ modelinin son hali aşağıda verilmiştir.

$\boldsymbol{LR1_2(\gamma,\mu)}: max \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * a_{ij} - \mu_{ij}) * y_{ik}$

Kısıtlar:

$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i$

$y_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i,k$

Bu durumda $LR1_2(\gamma,\mu)$ modelinin optimum çözümüde açıktır. $\vartheta_{ik} = \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * a_{ij} - \mu_{ij}\ \forall i,k$ olsun. Algılayıcı i hangi A_k kümesinde pozitif en yüksek ϑ_{ik} değerine sahipse o kümeye atanır yani $y_{ik}^* = 1$ olur, diğer kümelerde $y_{ik}^* = 0$ değerini alır.

Çünkü amaç fonksiyonu ϑ_{ik} toplamlarını en büyüklemeyi gerektirir. Sonuçta iki alt modelden elde edilen t_k^* ve y_{ik}^* değerlerine göre $LR1(\gamma, \mu)$ modelinin amaç fonksiyonu değeri Z^{*LR1} hesaplanır. Bu değer optimum amaç fonksiyonu değeri Z^* için bir üst sınır oluşturur.

Bu çalışmada doğrusal model 1 için önerilen Lagrangian sezgiseli 2 aşamadan oluşmaktadır. 1. aşamada parametrelerin başlangıç değerleri atanmaktadır. 2. aşamada ise Lagrangian modelinin çözümleri ve ceza maliyetlerinin güncellenmesi yapılmaktadır. Lagrangian sezgiseli aşamaları Algoritma 3'de verilmiştir.

Algoritma 3 Doğrusal model 1 için Lagrangian sezgiseli

1. **1. aşama:** Başlangıç atamaları yapılır.
2. Üst sınır $Z^{UB} = +\infty$, alt sınır $Z^{LB} = -\infty$, iterasyon sayac $it = 0$, iterasyon sınırı $it_stop = 15000$, adım büyüklüğü $\varphi = 2$ olarak atanır.
3. Ayrıca ceza maliyetleri γ_{jk} ve μ_{ik} [0,1] aralığında rastgele bir sayı alarak atanır.
4. **2. aşama:** it_stop sayısına kadar döngü devam eder.
5. **while** (it $<$ it_stop)
6. LR1(γ^{it}, μ^{it}) modelinin yukarıda belirtildiği gibi çöz ve t_k^*, y_{ik}^* ve Z^{*LR1} değerlerini hesapla.
7. **if** ($Z^{*LR1} < Z^{UB}$)
8. $Z^{UB} = Z^{*LR1}$'dir.
9. **endif**
10. **if** (t_k^* ve y_{ik}^* uygun çözüm ise)
11. $\underline{Z} = \sum_{k=1}^{K} t_k$ 'dir.
12. **endif**
13. **if** ($\underline{Z} > Z^{LB}$)
14. $Z^{LB} = \underline{Z}$ 'dir.
15. **endif**
16. γ çarpanlarının değerlerini güncelle.
17. $lag_{t_2} = (\varphi \times (Z^{UB} - Z^{LB})) \div (\sum_{j=1}^{M} \sum_{k=1}^{K} (t_k - \sum_{i=1}^{N} (y_{ik} * a_{ij}))^2$
18. $\gamma^{(it+1)} = \max[0, \gamma^{it} + lag_{t_2} \times (t_k - \sum_{i=1}^{N} (y_{ik} \times a_{ij})]$
19. μ çarpanlarının değerlerini güncelle.

20. $\mathrm{lag_{t_1}} = (\varphi \times (\mathrm{Z^{UB}} - \mathrm{Z^{LB}})) \div \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{k=1}}^{\mathrm{K}} (\mathrm{y_{ik}} - \mathrm{t_k})^2$
21. $\mu^{(\mathrm{it+1})} = \max\left[0, \mu^{\mathrm{it}} + \mathrm{lag_{t_1}} \times (\mathrm{y_{ik}} - \mathrm{t_k})\right]$
22. 20 iterasyonda bir eğer $\mathrm{Z^{LB}}$ iyileşmez ise φ yarıya iner.
23. **endwhile**
24. Return $\mathrm{Z^{LB}}$, Z^{UB}

Doğrusal model 2'nin çözümünde de Lagrangian sezgiseli uygulanmıştır. Bütün aşamalar doğrusal model 1 için uygulanan Lagrangian sezgiseli ile aynıdır.

Buna göre $LR2(\gamma, \mu)$ modeli şu şekildedir.

$$\boldsymbol{LR2(\gamma,\mu)}: \max \sum_{k=1}^{K} t_k + \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{J} (\gamma_{ik} * (\sum_{i=1}^{N} y_{ik} * \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)} - t_k)) + \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\mu_{ij} * (t_k - y_{ik}))$$

Kısıtlar:

(4.14) – (4.19)

Amaç fonksiyonunda bazı matematiksel düzenlemeler yapıldıktan sonra modelin son hali aşağıdaki gibi olur.

$$\boldsymbol{LR2(\gamma,\mu)}: \max \sum_{k=1}^{K} (1 - \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}) * t_k + \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)} - \mu_{ij}) * y_{ik}$$

Bu modelde $\boldsymbol{\gamma}$ ve $\boldsymbol{\mu}$ Lagrangian çarpanlarıdır. Benzer şekilde bu modeli sadece t_k ve sadece y_{ik} değişkenlerini içerecek şekilde 2 alt modele ayırmak mümkündür. $LR1_2(\gamma, \mu)$ modelindeki gibi $y_{ik} \in \{0,1\}$ $\forall i, k$ değişikliği yapıldıktan sonra ayrılmış modeller aşağıdaki gibi olur.

$$\boldsymbol{LR2_1(\gamma,\mu)}: max \sum_{k=1}^{K} (1 - \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}) * t_k$$

Kısıtlar:

$$0 \leq t_k \leq 1 \qquad \forall k$$

$$\boldsymbol{LR2_2(\gamma,\mu)}: max \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{N} (\sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)} - \mu_{ij}) * y_{ik}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} \leq 1 \qquad \forall i$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \qquad \forall i,k$$

$LR2_1(\gamma,\mu)$ modelinin optimum çözümü açıktır. Eğer $1 - \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} + \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij} \geq 0$ ise $t_k^* = 1$ değilse $t_k^* = 0$ değerini alacaktır.

$LR2_2(\gamma,\mu)$ modelinin optimum çözümü açıktır. $\vartheta_{ik} = \sum_{j=1}^{M} \gamma_{ik} * \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)} - \mu_{ij} \;\; \forall i,k$ olsun. Algılayıcı i hangi A_k kümesinde pozitif en yüksek ϑ_{ik} değerine sahipse o kümeye atanır yani $y_{ik}^* = 1$ olur, diğer kümelerde $y_{ik}^* = 0$ değerini alır. Sonuçta iki alt modelden elde edilen t_k^* ve y_{ik}^* değerlerine göre $LR2(\gamma,\mu)$ modelinin amaç fonksiyonu değeri Z^{*LR2} hesaplanır.

Doğrusal model 2 için Lagrangian sezgiselinin uygulanmasında ise doğrusal model 1 için uygulanan Lagrangian sezgiselindeki $\mathrm{lag_{t_2}}$ ve μ parametresi güncellemesi aşağıdaki gibi değiştirilir ve diğer aşamalar aynı kalır.

$$\mathrm{lag_{t_2}} = \left(\varphi \times (\mathrm{Z^{UB}} - \mathrm{Z^{LB}})\right) / \left[(\sum_{\mathrm{j=1}}^{\mathrm{M}} \sum_{\mathrm{k=1}}^{\mathrm{K}} \left(\mathrm{t_k} - \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} (\mathrm{y_{ik}} * \frac{\ln(1-a_{ij})}{\ln(1-\alpha)}\right)\right]^2$$

$$\gamma^{(\mathrm{it+1})} = \max\left[0, \gamma^{\mathrm{it}} + \mathrm{lag_{t_2}} \times \left(\mathrm{t_k} - \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} (\mathrm{y_{ik}} \times \left(\ln\left(1 - \mathrm{a_{ij}}\right) / \ln(1-\alpha)\right))\right)\right]$$

5. BÖLÜM

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde, Bölüm 3'de verilen modeller ve Bölüm 4'de geliştirilen Sezgisel yaklaşımların sonuçları çeşitli deney setleri ve performans ölçütleri kullanılarak test edilmiştir. Bulunan sonuçlar analiz edilmiştir.

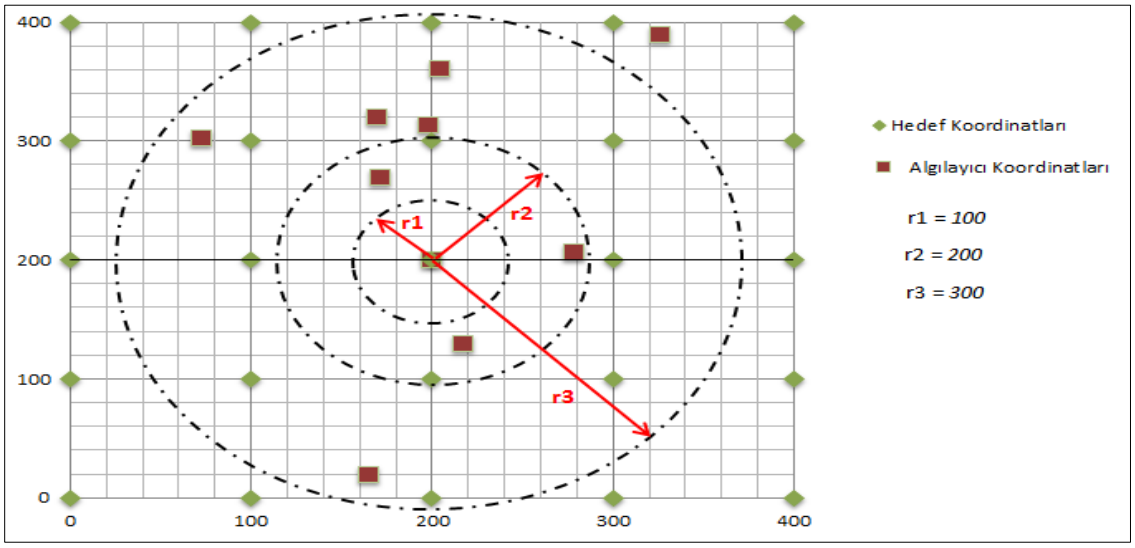
5.1 Deney Setlerinin Oluşturulması

Bu çalışmadaki deney setlerinin oluşturulmasında, kapsama alanında algılayıcıların hedefleri algılamaları için herhangi bir engel olmayan açık bir alan düşünülmüştür. Deney setleri için 400×400 birimlik bir ızgara yapının olduğu kabul edilmiştir. Bu ızgara yapı 100 birimlik aralıklara sahiptir. Dolaysıyla mevcut ızgara yapıda 25 adet hedef mevcuttur ve bütün deney setlerinde hedef sayısı $M = 25$ olarak alınmıştır. Izgara yapılı kapsama alanına algılayıcılar $N = 10,20, \ldots ,100$ olmak üzere 10 farklı sayıda rastgele dağıtılarak algılayıcı ataması yapılmıştır. Şekil 4'de $M = 25$ ve $N = 10$ olan deney seti verilmiştir.

Ayrıca her deney setinde 3 farklı algılama yarıçapı $r = 100, 200$ ve 300 için denemeler yapılmıştır. Deney setleri, 10 farklı sayıda algılayıcı ve 3 farklı sayıda algılama yarıçapı için toplamda $10 \times 3 = 30$ adettir. Bununla birlikte her iki problemde de kapsama alanı içindeki bütün hedefleri kapsayabilen maksimum algılayıcılar kümesi sayısı $K = 100$ olarak alınmıştır.

Bu çalışmada sunulan mükemmel kapsamalı ve olasılıksal kapsamalı iki farklı problem için 30 farklı deneme yapılmıştır. Mükemmel kapsamalı problem için yapılan denemelerde algılayıcıların, hedefleri % 100 kapsadığı varsayılmıştır. Ancak olasılıksal kapsamalı problemlerde algılayıcıların hedefleri en az $\alpha = 0.9$ güvenilirlik seviyesinde

kapsamaları koşulu mevcuttur. Çalışmamızda kullanılan ve aynı algılama yarıçapına sahip algılayıcıların özdeş olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4: 25 hedef ve 10 algılayıcı için deney seti örneği

Kablosuz algılayıcı ağların ağ ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan 2 matematiksel model ve önerilen 3 sezgisel yaklaşım C++ programında kodlanmış ve gerekli aşamalarda çözücü olarak IBM ILOG Cplex 12.1 [8] çözücüsü kullanılmıştır. Ayrıca mükemmel kapsamalı problemin bütün deney setlerinde optimum çözümü yine Cplex 12.1 çözücüsü kullanılarak bulunmuştur. Ancak olasılıksal kapsamalı problemin bazı deney setlerinde optimum çözümüne verilen zaman sınırları içinde ulaşılamamıştır.

5.2 Sonuçların Analizi

Bu bölümde ilk olarak olasılıksal kapsama probleminde bir algılayıcının bir hedefi kapsama olasılığı ($e^{-\theta d_{ij}}$) denkleminde verilen θ parametresi analiz edilmiştir ve hangi yarıçapta hangi değerin kullanılacağı belirlenmiştir. Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi her hedefin en az %90 olasılıkla düzeyinde kapsanması istenmektedir. Dolaysıyla bir r yarıçapında algılama yapan bir algılayıcı seçilirken $e^{-\theta d_{ij}} > 0.9$ eşitsizliğini sağlayacak teknik özelliklere sahip olmalıdır. Yani bu durumda her iki tarafın logaritması alınarak $\theta < \frac{-\ln 0.9}{d_{ij}}$ sağlamalıdır. Buna göre Tablo 1'de farklı yarıçaplar için seçilmesi gereken en büyük θ değerleri verilmiştir. Örneğin $r = 100$ algılama yarıçapına sahip bir algılayıcı tam 100 metre uzaklıktaki bir hedefi en az %90 güvenilirlik seviyesinde algılaması için $\theta < 0.001$ olmalıdır.

Tablo 1: Farklı algılama yarıçapları için algılama parametre değerleri

Algılama Yarıçapı (r)	Algılama Parametresi (θ)
100	< 0.001
200	< 0.0005
300	< 0.00035

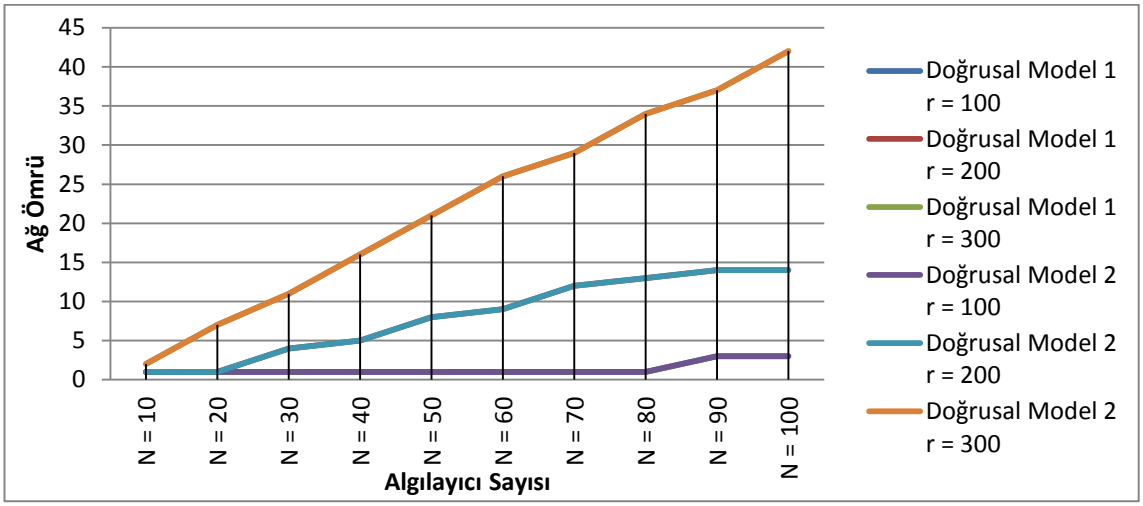
Tablo 2'de Doğrusal model 1 ve 2'nin optimum çözümlerinin amaç fonksiyonu değerleri yani en büyük ağ ömrü değerleri verilmiştir. Doğrusal model 1'de, verilen deney setleri için optimum çözüme 1-2 saniyede ulaşılabilmektedir. Genel olarak algılayıcı yarıçapı (r) ve algılayıcı sayısı (N) arttıkça ağ ömrünün arttığı gözlenmiştir. Güvenilirlik kısıtı eklenmiş Doğrusal model 2'nin optimum çözümüne ise bazı deney setlerinde ulaşılamamıştır. Dolaysıyla 1 saat ve 5 saat içinde bulunan en iyi çözüm tabloda verilmiştir. Ancak ilginç olan bir sonuç Doğrusal model 2 çözümlerinin Doğrusal model 1 çözümleri ile aynı olmasıdır.

Tablo 2: Doğrusal model 1 ve 2 için en iyi ağ ömrü

	Doğrusal Model 1			Doğrusal Model 2		
	r = 100	r = 200	r = 300	r = 100	r = 200	r = 300
N = 10	1	1	2	1	1	2*
N = 20	1	1	7	1	1	7*
N = 30	1	4	11	1	4**	11*
N = 40	1	5	16	1	5**	16*
N = 50	1	8	21	1	8**	21*
N = 60	1	9	26	1	9**	26*
N = 70	1	12	29	1	12**	29*
N = 80	1	13	34	1	13**	34*
N = 90	3	14	37	3**	14**	37*
N = 100	3	14	42	3**	14**	42*

* 5 saatte bulunan en iyi çözüm
** 1 saatte bulunan en iyi çözüm

Doğrusal model 1 ve 2'nin (Doğrusal model 2 sonuçlarının hepsinin optimum olmamasına rağmen) çözümlerinin aynı olması makul bir durumdur. Çünkü seçilen θ düzeyi zaten verilen r yarıçapında güvenilir algılamayı garanti etmektedir. Dolaysıyla kapsadığı alan mükemmel kapsama problemindeki ile aynıdır. Ancak uzun çözüm süreleri ikinci modelin zorluk derecesi hakkında bilgi vermiştir. Şekil 5'de ise algılayıcı sayısına göre ağ ömrünün artış trendi farklı yarıçaplarda her iki model içinde sunulmuştur.



Şekil 5: Algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

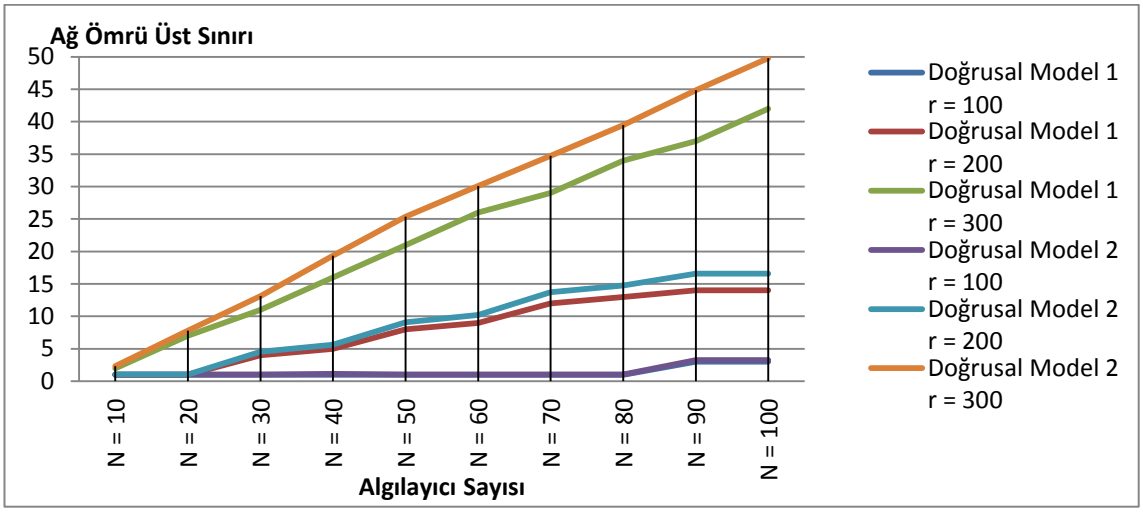
Tablo 3'de verilen zaman sınırları içinde Doğrusal model 1 ve 2'nin en iyi üst sınır değerleri verilmiştir. Optimum çözümü bulunan deney setlerinde $üst\ sınır = alt\ sınır$ olduğu için bu değer aynı zamanda optimum amaç fonksiyonu değeridir. Ancak diğerlerinde elde edilebilecek en iyi amaç fonksiyonunun değerini göstermektedir.

Tablo 3: Doğrusal model 1 ve 2 için elde edilen üst sınır değerleri

	Doğrusal Model 1			**Doğrusal Model 2**		
	r = 100	**r = 200**	**r = 300**	**r = 100**	**r = 200**	**r = 300**
N = 10	1	1	2	1,02	1,05	2,31
N = 20	1	1	7	1,06	1,02	7,78
N = 30	1	4	11	1,03	4,55	13,12
N = 40	1	5	16	1,14	5,61	19,37
N = 50	1	8	21	1,02	9,09	25,35
N = 60	1	9	26	1,02	10,23	30,12
N = 70	1	12	29	1,02	13,71	34,76
N = 80	1	13	34	1,02	14,77	39,48
N = 90	3	14	37	3,28	16,59	44,86
N = 100	3	14	42	3,28	16,59	49,81

Algılayıcı sayısına göre ağ ömrü üst sınırı artış eğilimi Şekil 6'de görülmektedir ve bu artış eğilimi her iki model içinde sunulmuştur.

Tablo 4'de Problem 1'in Açgözlü sezgiseli ile çözümü sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. CPU zaman sütunu sezgiselin ne kadar sürede çözümü bulduğunu, Ağ ömrü sütunu sezgiselin bulduğu en iyi ağ ömrünü ve % boşluk sütunu ise sezgiselin bulduğu ağ ömrü ile Tablo 2'de verilen en iyi çözümden % kaç uzakta olduğunu ifade etmektedir. % boşluk değeri aşağıda verilen (5.1) formülü ile hesaplanabilir.



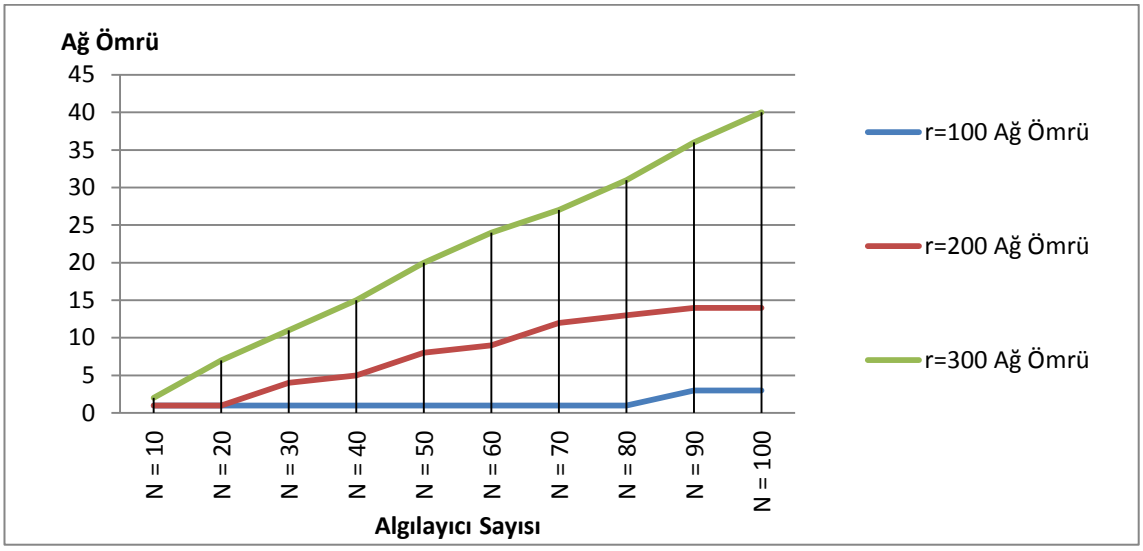
Şekil 6: Algılayıcı sayısı ve ağ ömrü için üst sınır eğilim grafiği

$$\%\ boşluk = \frac{|Sezgiselin\ ağ\ ömrü\ (Tablo\ 4) - En\ iyi\ bulunan\ çözüm\ (Tablo\ 2)|}{En\ iyi\ bulunan\ çözüm\ (Tablo\ 2)} \qquad (5.1)$$

Tablo 4: Problem 1 için Açgözlü Sezgiseli sonuçları

	r=100			r=200			r=300		
	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk
N = 10	0	1	0,00%	0	1	0,00%	0	2	0,00%
N = 20	0	1	0,00%	0	1	0,00%	0	7	0,00%
N = 30	0	1	0,00%	0	4	0,00%	0	11	0,00%
N = 40	0	1	0,00%	0	5	0,00%	0	15	6,25%
N = 50	0	1	0,00%	0	8	0,00%	0	20	4,76%
N = 60	0	1	0,00%	0	9	0,00%	0	24	7,69%
N = 70	0	1	0,00%	0	12	0,00%	0	27	6,90%
N = 80	0	1	0,00%	0	13	0,00%	0	31	8,82%
N = 90	0	3	0,00%	0	14	0,00%	0	36	2,70%
N = 100	0	3	0,00%	0	14	0,00%	0	40	4,76%

Tablo 4'de görüldüğü üzere % boşluk değerleri oldukça küçüktür ve % 10'in altındadır. Bu da Açgözlü Sezgiselinin oldukça iyi performans sergilediğini göstermektedir. Şekil 7'de Açgözlü Sezgiselinin algılayıcı sayısı ile ağ ömrü arasındaki eğilim gösterilmektedir ve algılayıcı sayısına göre ağ ömrünün artış eğiliminin algılama yarıçapı 300 olan algılayıcılar için daha yüksek olduğu görülmektedir.



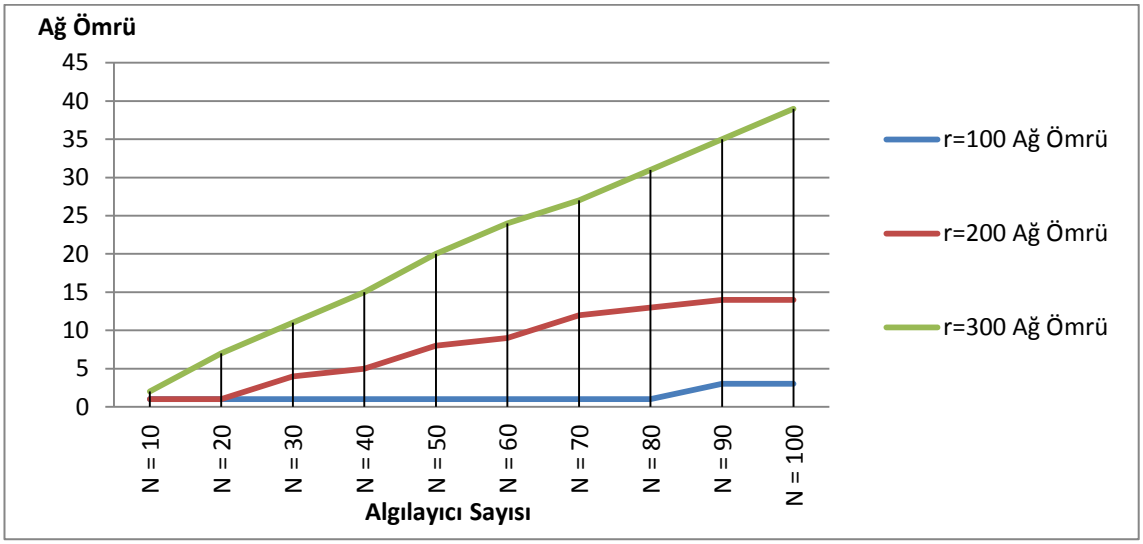
Şekil 7: Problem 1 için Açgözlü Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

Tablo 5'de Problem 2'in Açgözlü sezgiselinin çözümü sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 5: Problem 2 için Açgözlü Sezgiseli sonuçları

	r=100			r=200			r=300		
	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk
N = 10	0,00	1	0,00%	0,00	1	0,00%	0,00	2	0,00%
N = 20	0,00	1	0,00%	0,00	1	0,00%	0,00	7	0,00%
N = 30	0,00	1	0,00%	0,00	4	0,00%	0,00	11	0,00%
N = 40	0,00	1	0,00%	0,00	5	0,00%	0,00	15	6,25%
N = 50	0,00	1	0,00%	0,10	8	0,00%	0,10	20	4,76%
N = 60	0,00	1	0,00%	0,10	9	0,00%	0,10	24	7,69%
N = 70	0,00	1	0,00%	0,10	12	0,00%	0,20	27	6,90%
N = 80	0,10	1	0,00%	0,20	13	0,00%	0,20	31	8,82%
N = 90	0,10	3	0,00%	0,30	14	0,00%	0,30	35	5,41%
N = 100	0,10	3	0,00%	0,40	14	0,00%	0,70	39	7,14%

Tablo 5'deki % boşluk değerlerine bakıldığında değerler oldukça küçüktür ve bu sonuçlarda bize Problem 2 için uygulanan Açgözlü sezgiselinin iyi bir performans sergilediğini göstermektedir. Şekil 8'de algılayıcı sayısına göre ağ ömrünün artış eğiliminin algılama yarıçapı 300 olan algılayıcılar için daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 8: Problem 2 için Açgözlü Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

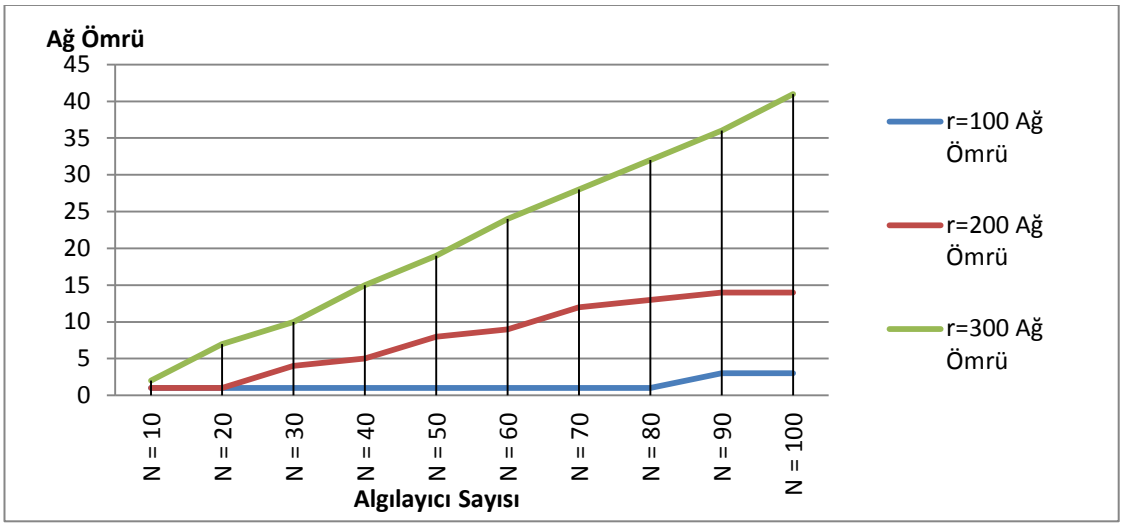
Problem 1 için geliştirilen Adım-adım ekleme sezgiselinin çözümünden elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. Adım-adım ekleme sezgiselinin CPU zaman değeri en büyük deney seti olan $r = 300$ ve $N = 100$ için 1.90 saniyede çözümü bulmuştur. Bu değer sezgiselin oldukça hızlı çözüm elde ettiğini göstermektedir.

Ayrıca Adım-adım ekleme sezgiselinin ağ ömrü sonuçlarına bakıldığında $r = 100$ ve $r = 200$ tamamı ile $r = 300$ ise bir kısmında optimum sonuç verdiği görülmektedir. $r = 300$ algılama aralığında Adım-adım ekleme sezgiseli ağ ömrü değerlerinde optimum sonuçlardan farklı değerlere ulaşmıştır.

Tablo 6: Problem 1 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli sonuçları

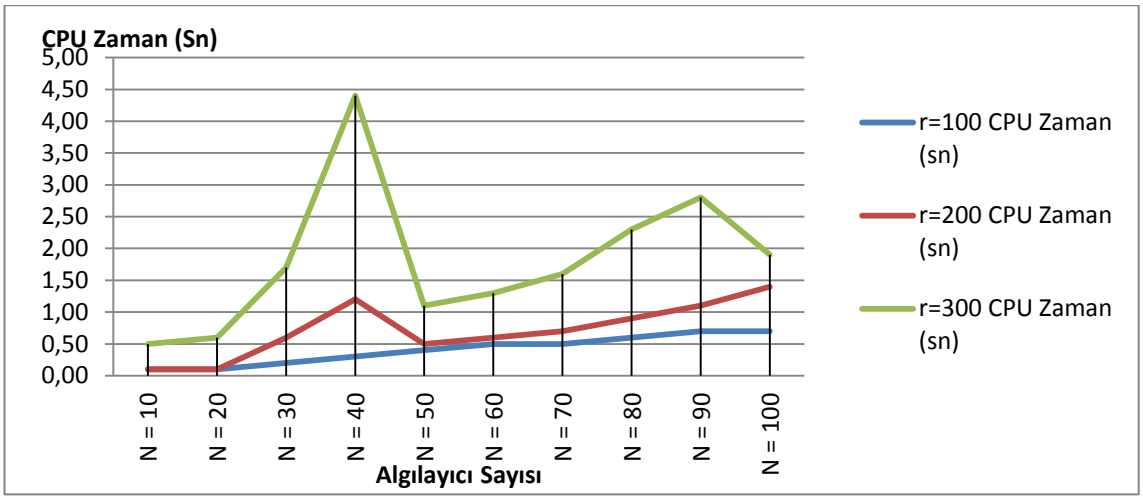
	r=100			r=200			r=300		
	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk
N = 10	0,10	1	0%	0,10	1	0%	0,50	2	0%
N = 20	0,10	1	0%	0,10	1	0%	0,60	7	0%
N = 30	0,20	1	0%	0,60	4	0%	1,70	10	9,09%
N = 40	0,30	1	0%	1,20	5	0%	4,40	15	6,25%
N = 50	0,40	1	0%	0,50	8	0%	1,10	19	9,52%
N = 60	0,50	1	0%	0,60	9	0%	1,30	24	7,69%
N = 70	0,50	1	0%	0,70	12	0%	1,60	28	3,45%
N = 80	0,60	1	0%	0,90	13	0%	2,30	32	5,88%
N = 90	0,70	3	0%	1,10	14	0%	2,80	36	2,70%
N = 100	0,70	3	0%	1,40	14	0%	1,90	41	2,38%

Problem 1 için önerilen Adım-adım ekleme sezgiselinde algılayıcı sayısı arttıkça hem ağ ömrü hem de CPU zaman değerlerinin artan bir eğilim gösterdiği Şekil 9 ve Şekil 10'de görülmektedir. Algılayıcı sayısına göre ağ ömrünün artış eğiliminin algılama yarıçapı 300 olan algılayıcılar için daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 9: Problem 1 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

Adım-adım ekleme sezgiselinde genel olarak artan eğilim $r = 300$ ve $N = 40$ değerlerinde 4,40 saniye ile artan eğilim çizgisini bozmaktadır.



Şekil 10: Problem 1 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ile CPU Zamanı eğilim grafiği

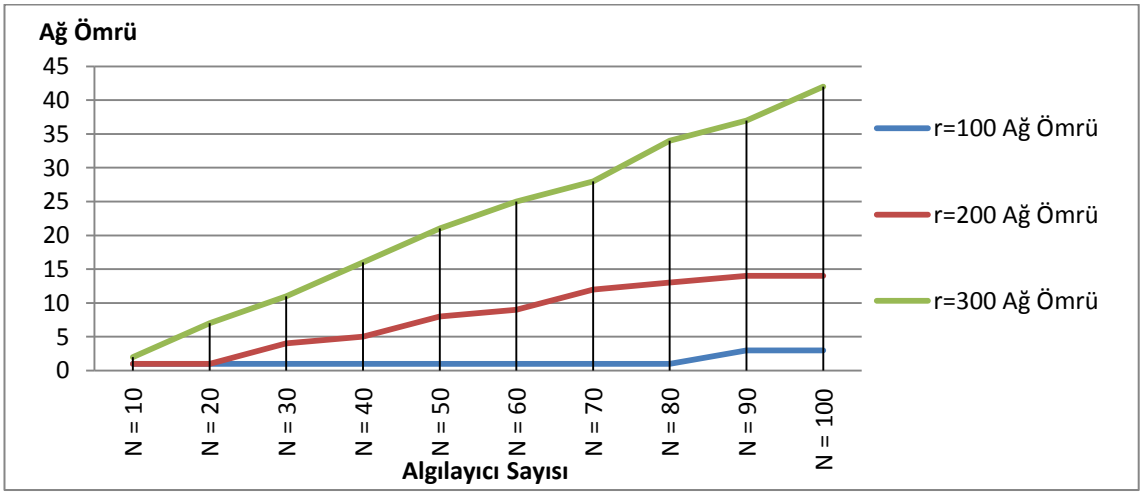
Problem 2 için önerilen Adım-adım ekleme sezgiseli ile ilgili sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Problem 2'nin en iyi uygun ağ ömrü sonuçları ile karşılaştırıldığında Adım-adım ekleme sezgiselinden çıkan sonuçlar birkaç deney seti dışında aynıdır. Adım-adım

ekleme sezgiselinin CPU zamanlarına bakıldığında ise en büyük deney setinin sonuçlarını 9.1 saniyede elde ederek oldukça iyi performans gösterdiği görülmektedir.

Tablo 7: Problem 2 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli sonuçları

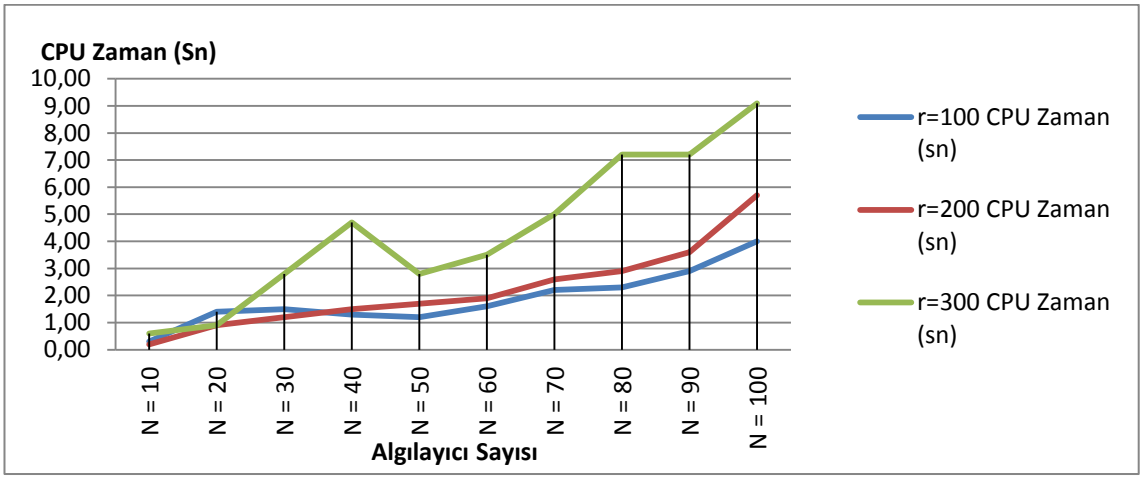
	r=100			r=200			r=300		
	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk
N = 10	0,30	1	0%	0,20	1	0%	0,60	2	0%
N = 20	1,40	1	0%	0,90	1	0%	0,90	7	0%
N = 30	1,50	1	0%	1,20	4	0%	2,80	11	0%
N = 40	1,30	1	0%	1,50	5	0%	4,70	16	0%
N = 50	1,20	1	0%	1,70	8	0%	2,80	21	0%
N = 60	1,60	1	0%	1,90	9	0%	3,50	25	4%
N = 70	2,20	1	0%	2,60	12	0%	5,00	28	3%
N = 80	2,30	1	0%	2,90	13	0%	7,20	34	0%
N = 90	2,90	3	0%	3,60	14	0%	7,20	37	0%
N = 100	4,00	3	0%	5,70	14	0%	9,10	42	0%

Problem 2 için önerilen Adım-adım ekleme sezgiselinin çözümünden elde edilen ağ ömrü değerlerinin algılayıcı sayısı arttıkça artış gösterdiği Şekil 11'de görülmektedir. Algılayıcı sayısına göre ağ ömrünün artış eğiliminin algılama yarıçapı 300 olan algılayıcılar için daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artış eğilimin algılayıcıların algılama aralığı ile de orantılı olduğu göstermektedir.



Şekil 11: Problem 2 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

Şekil 12'da Adım-adım ekleme sezgiseli ile Problem 2'nin çözüm zamanı verilmiştir ve algılayıcı sayısı ve algılama aralığı arttıkça CPU zamanının arttığı görülmektedir.



Şekil 12: Problem 2 için Adım-adım Ekleme Sezgiseli algılayıcı sayısı ve CPU zamanı eğilim grafiği

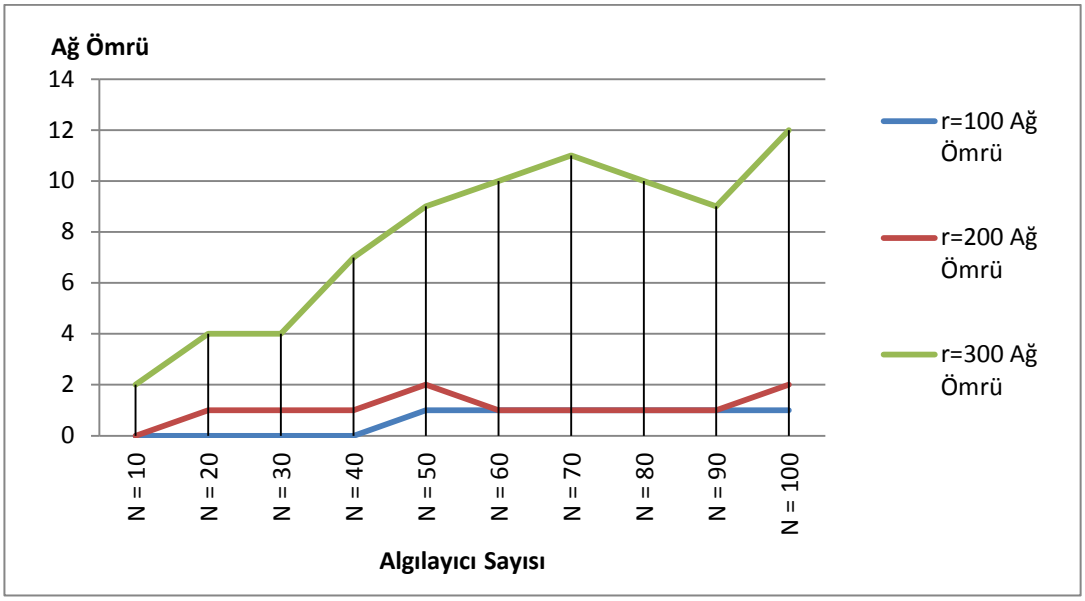
Problem 1 için geliştirilen Lagrangian Sezgiseli sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında % boşluk değerlerinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Deney setlerinde algılayıcı sayısı ve algılama aralığı arttığında % boşluk değerlerinin de bir artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Lagrangian sezgiselini diğer sezgisellerle hem CPU zamanı hem de problemin amaç fonksiyonu olan ağ ömrü bakımından karşılaştırıldığında performans olarak iyi sonuçlar vermediği tespit edilmiştir.

Tablo 8: Problem 1 için Lagrangian Sezgiseli sonuçları

	r=100			r=200			r=300		
	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk	CPU Zaman (sn)	Ağ Ömrü	% Boşluk
N = 10	0,60	0	100%	0,70	0	100%	0,90	2	0%
N = 20	1,20	0	100%	1,20	1	0%	3,00	4	43%
N = 30	1,70	0	100%	3,90	1	75%	5,90	4	64%
N = 40	2,20	0	100%	5,40	1	80%	9,60	7	56%
N = 50	2,80	1	0%	6,90	2	75%	14,30	9	57%
N = 60	3,30	1	0%	8,80	1	89%	19,70	10	62%
N = 70	3,80	1	0%	12,70	1	92%	26,50	11	62%
N = 80	4,40	1	0%	14,70	1	92%	34,80	10	71%
N = 90	7,20	1	67%	14,80	1	93%	39,50	9	76%
N = 100	7,30	1	67%	18,20	2	86%	50,10	12	71%

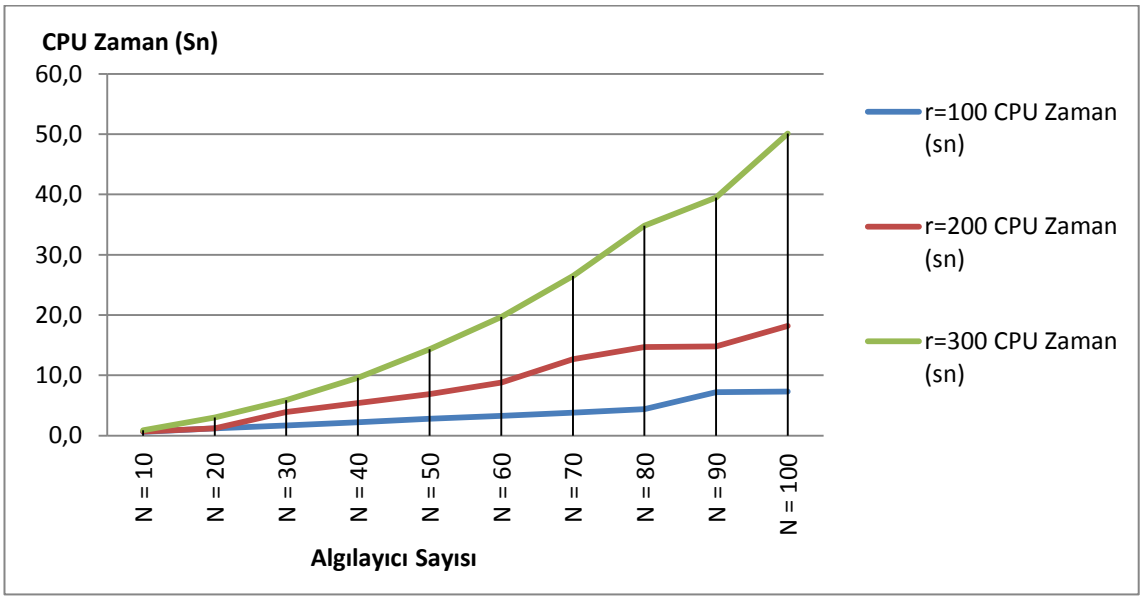
Problem 1 için geliştirilen Lagrangian sezgiseli çözümünden elde edilen ağ ömrü sonuçlarına ait eğilim grafiği Şekil 13'da görülmektedir. Sezgisel çözümünden elde edilen ağ ömrü sonuçları algılama sayısı ve algılama aralığı arttıkça arttığı

görülmektedir. Sezgisel çözümünden elde edilen ağ ömrü sonuçlarına bakıldığında özellikle $r = 100$ ve $r = 200$ algılama aralığında çok iyi sonuçlar vermediği görülmektedir.



Şekil 13: Problem 1 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

Şekil 14'de Lagrangian Sezgiselinin CPU zaman değerleri verilmiştir. CPU zaman değerlerinde algılayıcı sayısı ve algılama aralığı arttıkça artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Diğer taraftan $r = 100$ algılama aralığında algılayıcı sayısındaki artışın ağ ömrü üzerinde çok etkisi olmadığı da ayrıca tespit edilmiştir.



Şekil 14: Problem 1 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve CPU zamanı eğilim grafiği

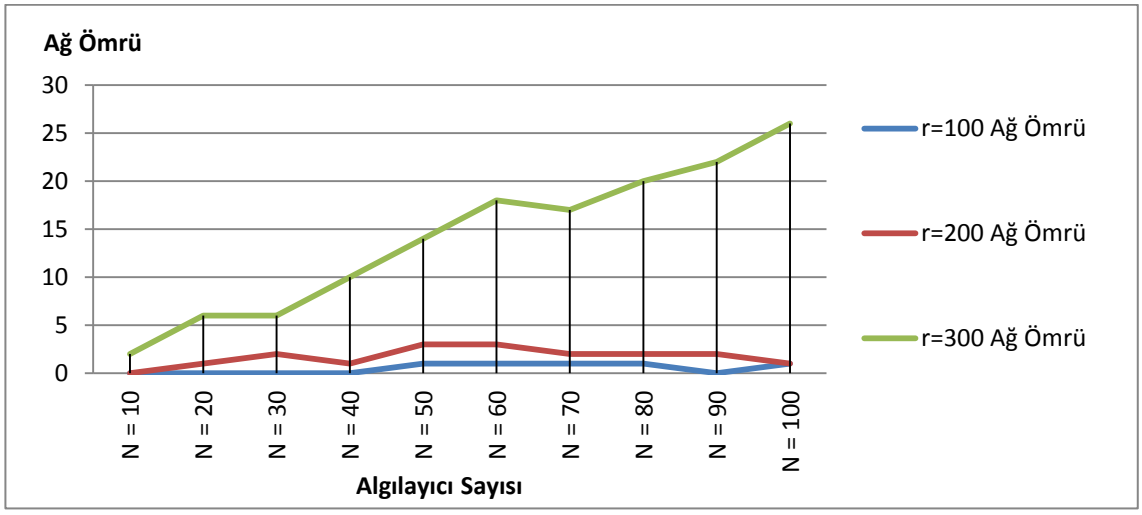
Problem 2 için geliştirilen Lagrangian sezgiselinin çözümünden elde edilen sonuçlarda Tablo 9'de verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında % boşluk değerlerinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Deney setlerinde algılayıcı sayısı ve algılama aralığı arttığında % boşluk değerlerinin de bir artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Ama Problem 2 için geliştirilen Lagrangian sezgiselinde özellikle $r = 300$ algılama aralığında elde edilen ağ ömrü sonuçları, Problem 1 için geliştirilen Lagrangian sezgiselindeki sonuçlar ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Ayrıca Lagrangian sezgiselini diğer sezgisellerle hem CPU zamanı hem de problemin amaç fonksiyonu olan ağ ömrü bakımından karşılaştırıldığında performans olarak iyi sonuçlar vermediği tespit edilmiştir.

Tablo 9: Problem 2 için Lagrangian Sezgiseli sonuçları

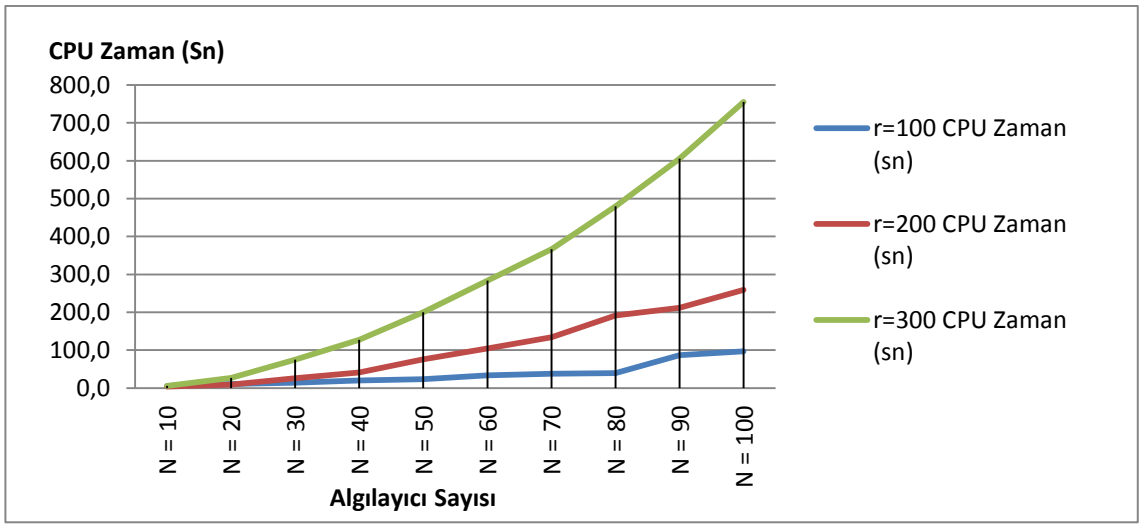
	r=100			**r=200**			**r=300**		
	CPU Zaman (sn)	**Ağ Ömrü**	**% Boşluk**	**CPU Zaman (sn)**	**Ağ Ömrü**	**% Boşluk**	**CPU Zaman (sn)**	**Ağ Ömrü**	**% Boşluk**
N = 10	5,60	0	100%	3,60	0	100%	5,40	2	0%
N = 20	10,90	0	100%	8,90	1	0%	27,10	6	14%
N = 30	14,00	0	100%	26,10	2	50%	74,90	6	45%
N = 40	20,20	0	100%	41,00	1	80%	127,20	10	38%
N = 50	23,00	1	0%	75,50	3	63%	199,80	14	33%
N = 60	33,70	1	0%	104,90	3	67%	283,70	18	31%
N = 70	38,00	1	0%	134,50	2	83%	366,70	17	41%
N = 80	39,10	1	0%	191,30	2	85%	480,10	20	41%
N = 90	86,90	0	100%	211,70	2	86%	605,90	22	41%
N = 100	96,70	1	67%	259,60	1	93%	755,70	26	38%

Şekil 15'da görüldüğü gibi sezgisel çözümünden elde edilen ağ ömrü sonuçları algılama sayısı ve algılama aralığı arttıkça arttığı görülmektedir. Ağ ömrü sonuçlarına bakıldığında özellikle $r = 100$ ve $r = 200$ algılama aralığında çok iyi sonuçlar vermediği görülmektedir.



Şekil 15: Problem 2 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve ağ ömrü eğilim grafiği

Problem 2 için önerilen Lagrangian Sezgiselinin CPU zaman değerleri şekil 16'de verilmiştir. CPU zaman değerlerinde algılayıcı sayısı ve algılama aralığı arttıkça artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Diğer taraftan $r = 100$ algılama aralığında algılayıcı sayısındaki artışın ağ ömrü üzerinde çok etkisi olmadığı da ayrıca tespit edilmiştir. Ayrıca özellikle $r = 300$'de diğer algılama aralıklarına göre daha fazla bir artış eğilimi olduğu görülmektedir.



Şekil 16: Problem 2 için Lagrangian Sezgiseli algılayıcı sayısı ve CPU zamanı eğilim grafiği

6. BÖLÜM

TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Değerlendirme Ve Sonuç

Bu çalışmada farklı algılama aralığına sahip algılayıcılardan oluşan KAA' ların ağ ömrünü en büyüklemeyi amaçlayan mükemmel kapsamalı ve olasılıksal kapsamalı iki farklı problem ele alınmıştır. Mükemmel kapsamalı problem herhangi bir güvenilirlik stratejisinin kullanılmadığı sadece algılayıcıların algılama aralığında bulunan hedefleri kapsadığı düşünülmüştür. Olasılıksal kapsamalı problemde ise modelde güvenilirlik kısıtının olduğu ve algılayıcıların algılama aralığında bulunan hedefleri belli bir güvenilirlik düzeyinde kapsandığı düşünülmüştür.

Farklı algılama aralığı ve farklı sayılarda algılayıcılardan oluşan toplam 30 deney seti için mükemmel kapsamalı (Problem 1) ve olasılıksal kapsamalı (Problem 2) problemler için oluşturulan matematiksel modeller Cplex 12.1 çözücüsü ile çözülmüştür. Problem 1 için oldukça kısa sürelerde optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak Problem 2'de ise optimum sonuçlara sadece bazı deney setlerinde ulaşılmıştır. Ayrıca Problem 2'de optimum sonuçları bulunamayan deney setlerinde iyi sonuçlara ulaşmak için bazıları 1 saat, bazıları da 5 saat çalıştırılmıştır. Problem 1 ve Problem 2'den elde edilen aynı zamanda da amaç fonksiyonu olan ağ ömrü sonuçları aynıdır. CPU zaman değerleri karşılaştırıldığında ise Problem 1 30 saniyeyi geçmeyen çok kısa sürede optimum sonuç verirken Problem 2 ise modelin komplike olmasından kaynaklanan sebeplerle 1 ile 5 saatlik çalışma sürelerinde bile optimum sonuçlara ulaşılamamıştır. Ayrıca her iki probleminde $r = 300$ algılama aralığında ağ ömrü sonuçlarının diğer algılama aralıklarından oldukça fazla artış eğilimi gösterdiği görülmektedir.

Problemlerin performans analizinin ardından daha büyük ağlarda çözüm süresinin kısaltılabilmesi için optimizasyon tabanlı üç farklı sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Bu

geliştirilen sezgiseller Açgözlü, Adım-adım ekleme ve Lagrangian sezgiselleridir. Sezgisel yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda her iki problem için ağ ömrü açısından optimuma en yakın sonuç veren sezgisel Adım-adım ekleme sezgiselidir. Problem 1 ve 2 için geliştirilen Adım-adım ekleme sezgiseli CPU zaman açısında Açgözlü sezgiseli kadar iyi sonuç vermese de en büyük deney setini Problem 1 için 1.90 saniyede Problem 2 içinde 9.10 saniyede çözmüştür.

Açgözlü sezgiseli sonuçlarına bakıldığında Problem 1 için ağ ömrü değerlerinde, $r = 100$ ve $r = 200$ algılama aralığındaki bütün deney setlerinde optimum sonuç verirken $r = 300$ algılama aralığında optimuma en büyük $\%\,8{,}82$ bir sapma oranı göstermiştir. CPU zamanı değerleri Problem 1 için bütün deney setlerinde 0 saniye olarak görülürken Problem 2 için en büyük deney setini $0{,}70$ saniyede çözmüştür. Sonuç olarak Açgözlü sezgiseli CPU zaman değerleri açısından üç sezgisel içinde en iyi performansı göstermektedir.

Problem 1 ve Problem 2 için geliştirilen Lagrangian sezgiseli genel anlamda hem CPU zamanı açısından çok uzun süre çalışmıştır hem de amaç fonksiyonu olan ağ ömrü değeri ile optimum sonuçlar arasındaki farkı gösteren % boşluk değerleri oldukça fazladır. Ancak Lagrangian sezgiseli sonuçlarına bakıldığında Problem 2'nin sonuçları ile Problem 1'e göre daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Sonuç olarak Lagrangian sezgiseli diğer iki sezgisel arasında en kötü performansı gösteren sonuçlar vermiştir. Ancak Lagrangian sezgiselinde iyileştirmeler yapmak mümkündür. Örneğin 2. aşama alt model çözüm sonuçları uygun değilse bir sezgisel kullanılarak bunların uygun hale getirilmesi sağlanabilir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında güvenilirlik kısıtı modelin zorluk derecesini arttırmaktadır. Özellikle algılama aralığı (r) ve algılayıcı sayısı (N) değerleri arttığında bu zorluk derecesi daha fazla artmaktadır. İleri araştırma konusu olarak algılayıcıların çevrelerinden aldıkları verileri baz istasyonlarına en kısa yoldan iletmeleri için rotalama işlemi yapılabilir. Bu işlemde bir algılayıcı elde ettiği veriyi kapsama alanındaki baş bir algılayıcıya iletmekte ve bu şekilde baz istasyonuna veri iletilmektedir. Dolaysıyla her algılayıcının baz istasyonuna bağlı olma şartı kalkmış olacaktır ve daha geniş alanların kapsanması mümkün olacaktır. Ancak bu şekilde çalışan algılayıcılar işlenen verileri

rota üzerinden iletirken de enerji kaybetmektedir. Böylece her algılayıcıdaki veriler en kısa yoldan baz istasyonuna aktarılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Abbasi, AA., Younis, M., 2007. A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks, **Computer Communications, 30** (14-15): 2826-2841.
2. Ahmed, N., Kanhere, S. S., Jha, S. 2005. Probabilistic coverage in wireless sensor networks, pp. 672–681. *In Proceedings of the IEEE Conference on Local Computer Networks*, 17-17 Nov. 2005 Sydney, NSW.
3. Behdani, Y. S. Yun, J. C. Smith, Y. Xia., 2012. Decomposition algorithms for maximizing the lifetime of wireless sensor networks with mobile sinks, **Computers & Operations Research, 39** (5): 1054–1061.
4. Wang B., 2011. Coverage problems in sensor networks: A survey, **ACM Computing Surveys, 43** (4): 32
5. Ball M., Lin F., 1993. A reliability model applied to emergency service vehicle location. **Operations Research, 41** (1): 18–36.
6. Chakrabarty, K., Iyengar, S.S., Hairong Q., Eungchun C., 2002. Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks, pp. 1448–1453. *IEEE Transactions Computers*,
7. Church, R.L., ReVelle, C., 1974. Maximal covering location problem, **Papers of the Regional Science Association, 32** (1): 101–118.
8. Cplex. (2010). IBM ILOG Cplex 12.1 optimizer user's manuel. (Web sayfası: **http://www.ampl.com/BOOKLETS/amplcplex121userguide.pdf)**, (Erişim tarihi: Haziran 2014).
9. Daskin, M.S., 1983. A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution, **Transportation Science, 17** (1): 48-70.
10. Daskin, M.S., 1995. Network And Discrete Location: Models, Algorithms And Applications. John Wiley & Sons, Inc., New York 520 pp.
11. Güney, N. A., Altınel, I. K., Ersoy, C., 2010. Efficient integer programming formulations for optimum sink location and routing in heterogeneous wireless sensor networks, **Computer Networks, 54** (11): 1805–1822.
12. Castano, A., Rossi, M., Sevaux, N. V., 2013. On the use of multiple sinks to extend the lifetime in connected wireless sensor networks, **Electronic Notes in Discrete Mathematics, 41**: 77–84.

13. Farahani R. Z., Asgari N., Heidari N., Hosseininia M., Goh M., 2012. Covering problems in facility location: A review. **Computers & Industrial Engineering, 62** (1): 368–407.
14. Fisher, M. L., 1981. The lagrangean relaxation method for solving integer programming problems, **Management Science, 50** (12): 1861-1871.
15. Held, M. H., Wolfe P., Crowder H. D., 1974. Validation of the Subgradient Optimization, **Mathematical Programming, 6** (1): 62-88.
16. Hogan, K., Revelle, C., 1986. Concepts and Applications of Backup Coverage. **Management Science, 32** (11): 1434-1444.
17. Akyildiz , I. F., Su, W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci, E., 2002. Wireless sensor networks: A survey, **Computer Networks, 38** (4): 393-422.
18. Akyildiz , I. F., Su, W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci, E., 2002. A survey on sensor networks, pp. 102-114. *IEEE Communications Magazine, 40.*
19. Altınel, I.K., Aras, N., Güney, E., Ersoy, C., 2008. Binary integer programming formulations and heuristics for differentiated coverage in heterogeneous sensor networks, **Computer Network, 52** (12): 2419–2431.
20. Altınel, I.K., Aras, N., Güney, E., Ersoy, C., 2006. Effective coverage in sensor networks: binary integer programming formulations and heuristics, pp. 4014–4019. *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, 9*, İstanbul June 2006.
21. Jing H., Shouling J., Yi P., Yingshu L., 2011. Reliable and Energy Efficient Target Coverage for Wireless Sensor Networks. **Tsinghua Science and Technology, 16** (5): 464-474
22. Cardei, M., Thai, M.T., Yingshu L. Weili W., 2005. Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks, pp. 1976–1984. *Proceedings of the 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies, 3.* INFOCOM 2005.
23. Cheng, M.X., Lu R., Weili W., 2005. Achieving minimum coverage breach under bandwidth constraints in wireless sensor networks, pp. 2638–2645. *Proceedings of the 24th Conference of the IEEE Communications Society,* INFOCOM 2005.

24. Papadimitriou, I., Georgiadis, L., 2005. Maximum lifetime routing to mobile sink in wireless sensor networks, *Proceedings of the 13th IEEE SoftCom, IEEE Press*, Piscataway, NJ.

25. Pirkul, H., Schilling, D., 1989. The capacitated maximal covering location problem with backup service, **Annals of Operations Research, 18** (1): 141-154.

26. ReVelle, C., Hogan, K., 1989. The maximum reliability location problem and alpha-reliable p-center problems: Derivatives of the probabilistic location set covering problem. **Annals of Operations Research, 18** (1): 155–174.

27. Dhillon, S.S., Chakrabarty, K., Iyengar, S.S., 2002. Sensor placement for grid coverage under imprecise detections, pp. 1581-1587. *Proceedings of the Fifth International Conference,* Annapolis, MD, USA 2002.

28. Sorensen, P., Church, R. 2010. Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. **Socio-Economic Planning Sciences, 44** (1): 8–18.

29. Wang, C., Thaı, M. T., Lı, Y.,Wang, F., Wu, W., 2007. Minimum coverage breach and maximum network lifetime in wireless sensor networks, pp. 438 – 445. *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference Globecom.* 22-24 Aug. 2005.

30. Wang, B., Chua, K. C., Srinivasan, V., Wang, W., 2009. Scheduling sensor activity for information coverage of discrete targets in sensor networks, **Wireless Communications and Mobile Computing, 9** (6): 745-757.

31. Türkoğulları, Y. B., Aras N., Altınel, I. K., Ersoy, C., 2010. A column generation based heuristic for sensor placement, activity scheduling and data routing in wireless sensor networks, **European Journal of Operational Research, 207** (2): 1014–1026.

32. Zou, Y., Chakrabarty, K., 2004. Uncertainty-Aware and Coverage-Oriented Deployment for Sensor Networks, **Journal of Distributed and Parallel Computing, 64** (7): 788-798.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ahmet KARA

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 18 Mayıs 1987, Sivas

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 535 389 07 53

email: ahmet.endustri@gmail.com

Yazışma Adresi: Yeniköy Mh. Zeren Geçidi Arslantaş Apt. 38050 11/2
Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimler Enstitüsü	2014
Lisans	EÜ Endüstri Mühendisliği	2010
Lise	Aydınlıkevler Lisesi, Kayseri	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2014 - Halen	Abdullah Gül Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013 – 2014	Cumhuriyet Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011 – 2012	Boyçelik A.Ş.	Mali Analiz Uzman Yrd.

YABANCI DİL

İngilizce