



**DEPREM SONRASI İLETİŞİMİN SÜREKLİLİĞİ AMACIYLA KABLOSUZ
TEKNOLOJİLERİN EN UYGUNUNUN SEÇİLMESİNE YÖNELİK BİR
KARAR DESTEK SİSTEMİ MODELİ**

Ali Burak AKBULUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

Ali Burak AKBULUT tarafından hazırlanan "DEPREM SONRASI İLETİŞİMİN SÜREKLİLİĞİ AMACIYLA KABLOSUZ TEKNOLOJİLERİN EN UYGUNUNUN SEÇİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ MODELİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Tahsin ÇETİNYOKUŞ

Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. İbrahim Alper DOĞRU

Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 30/07/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Aslıhan TÜFEKÇİ
Bilişim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ali Burak AKBULUT
30/07/2024

DEPREM SONRASI İLETİŞİMİN SÜREKLİLİĞİ AMACIYLA KABLOSUZ
TEKNOLOJİLERİN EN UYGUNUNUN SEÇİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR
DESTEK SİSTEMİ MODELİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ali Burak AKBULUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2024

ÖZET

Doğal afetler, can ve mal kayıplarına yol açarak toplumlar üzerinde yıkıcı etkiler yaratmaktadır. Doğal afetlerden deprem, telekomünikasyon altyapısına ciddi zararlar verebilmektedir. Bu tür durumlarda, iletişimin kesintiye uğramaması hayati önem taşımaktadır. Bu durum, geleneksel mobil ağlara dayalı iletişim sistemlerinin işlevini yitirmesine ve iletişim kopukluklarına yol açmaktadır. Bu kapsamda, depremler gibi doğal afetlerde telekomünikasyon altyapısında oluşabilecek sorunlar nedeniyle telekomünikasyon altyapısına alternatif olarak mobil ağdan bağımsız kablosuz ağ oluşturularak iletişimin sürekliliği sağlanmalıdır. Bu çalışmada, mobil ağlarda yaşanan afet senaryoları baz alınarak, mobil ağdan bağımsız, farklı kablosuz teknolojilere sahip bir iletişim ağı tasarlamak için bir karar destek sistemi modeli oluşturulmuştur. Önerilen modelde pilot bölge olarak İstanbul'un Zeytinburnu ilçesi seçilmiştir. İlçenin afet sonrası toplanma alanları talep noktası olarak, tüm mahalleler ise aday nokta olarak değerlendirilmiştir. Aday noktalarının puanları belirli kriterlere göre ağırlıklandırılmıştır. Ele alınan problem çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan amaç programlama ile küme kapsama yaklaşımıyla modellenmiş ve GAMS paket program ile çözülmüştür. Çeşitli varsayımlarla üretilen model ile parametreleri revize ederek farklı senaryolar üretilmiştir. Doğal afet senaryolarında kablosuz teknolojilerin optimum kaynaklarla etkin kullanımı için önerdiğimiz karar destek sistemi modeli olan çalışmamız, afet durumlarında iletişim ve iletişimin sürekliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bilim Kodu : 114606
Anahtar Kelimeler : Kablosuz Teknolojiler, Küme Kapsama, Hedef Programlama
Sayfa Adedi : 106
Danışman : Doç. Dr. Tahsin ÇETİNYOKUŞ

A DECISION SUPPORT SYSTEM MODEL FOR SELECTING THE MOST
APPROPRIATE WIRELESS TECHNOLOGIES FOR POST-EARTHQUAKE
COMMUNICATION CONTINUITY

(M. Sc. Thesis)

Ali Burak AKBULUT

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF INFORMATICS

July 2024

ABSTRACT

Natural disasters have devastating effects on societies by causing loss of life and property. Among natural disasters, earthquakes can cause serious damage to telecommunications infrastructure. In such situations, it is vital that communication is not interrupted. This situation leads to the loss of functionality of communication systems based on traditional mobile networks and communication breakdowns. In this context, due to the problems that may occur in the telecommunication infrastructure during natural disasters such as earthquakes, a wireless network independent of the mobile network should be created as an alternative to the telecommunication infrastructure to ensure continuity of communication. In this study, a decision support system model is created to design a communication network with different wireless technologies independent from the mobile network based on disaster scenarios experienced in mobile networks. In the proposed model, Zeytinburnu district of Istanbul was selected as a pilot region. Post-disaster gathering areas of the district are considered as demand points and all neighborhoods are considered as candidate points. The scores of the candidate points were weighted according to certain criteria. The problem was modeled with a cluster coverage approach using goal programming, which is used in solving multi-objective problems, and solved with the GAMS package. Different scenarios were generated by revising the parameters with the model produced with various assumptions. Our study, which is a decision support system model we propose for the effective use of wireless technologies with optimum resources in natural disaster scenarios, is of great importance in terms of communication and continuity of communication in disaster situations.

Science Code : 114606

Key Words : Wireless Technologies, Set Covering, Goal Programming

Page Number : 106

Supervisor : Doç. Dr. Tahsin ÇETİNYOKUŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Sayın Danışmanım Doç.Dr.Tahsin ÇETİNYOKUŞ'a ve Sayın Dr.Öğr.Üyesi Emre ÇALIŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Bununla birlikte tez yazım süresince desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babama, ablama, sevgili eşim Şeyma AKBULUT'a ve yanımda olamasa da bugünlere gelmem de desteğini her zaman kalbimde hissettiğim rahmetli anneme teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. DOĞAL AFET VE HABERLEŞME KAVRAMLARI	3
2.1. Doğal Afet ve Deprem Kavramları	3
2.2. Acil Durum.....	4
2.3. Afet Yönetimi.....	4
2.4. Haberleşme.....	6
2.5. Telekomünikasyon	6
2.6. Doğal Afet ve Depremlerin Haberleşme Süreçlerine Etkisi	7
2.7. Acil Durum Haberleşmesi.....	8
2.8. Acil Durum Haberleşmesi için Ağ Senaryoları.....	10
2.8.1 Sıkışık Ağ	11
2.8.2. Kısmi Ağ.....	12
2.8.3. İzole Ağ	13
3. KABLOSUZ TEKNOLOJİLER VE TESİS YER SEÇİMİ	
PROBLEMLERİ	15
3.1. Kablosuz Teknolojiler	15
3.1.1.Wi-Fi.....	16
3.1.2. Bluetooth	17
3.1.3. Zigbee	18
3.1.4. WiMAX.....	18
3.1.5. NFC	19
3.1.6. UWB.....	19

	Sayfa
3.1.7. 5G	20
3.1.8. LoRA	21
3.1.9. Sigfox.....	22
3.1.10. NB-IoT.....	22
3.1.11. LPWAN Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	23
3.2. Tesis Yer Seçimi Problemleri	25
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	31
4.1. Kapsama Problemleri	31
4.1.1. Küme Kapsama Problemi	31
4.1.2. En Büyük Alan Kapsama Modeli	32
4.2. P-Medyan Problemleri	34
4.3. Hedef Programlama.....	35
4.4. Kablosuz Teknolojiler ve Doğal Afetler ile İlgili Çalışmalar	37
5. DEPREM SONRASI İLETİŞİMİN SÜREKLİLİĞİ AMACIYLA AFET SENARYOLARINA GÖRE KABLOSUZ TEKNOLOJİLER İLE BİR MODEL ÖNERİSİ.....	43
5.1 Problemin Tanımı.....	43
5.2. Modelin Kurulması	49
5.3. Modelin Çözülmesi ve Senaryolar	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR.....	67
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Afet Yönetim Sistemi	5
Şekil 2.2. Afet Sonrası İletişim Senaryosu	10
Şekil 2.3. Sıkışık Ağ Senaryosu.....	11
Şekil 2.4. Kısmi Ağ Senaryosu	12
Şekil 2.5. İzole Ağ Senaryosu.....	13
Şekil 3.1. Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	24
Şekil 3.2. LPWAN Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.3. Alfred Weber'in Yerleşim Teorisi Problemi	26
Şekil 3.4. Tesis Yerleşim Problemi.....	27
Şekil 5.1. İş Akış Diyagramı.....	44
Şekil 5.2. Talep Noktaları	45
Şekil 5.3. Senaryo 1 Harita Görseli	52
Şekil 5.4. Senaryo 2 Harita Görseli	54

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 5.1 Talep Noktalarının Kapasitesi	46
Tablo 5.2. Aday Noktalarının Ağırlıklandırılması.....	48
Tablo 5.3. Kablosuz Teknolojilerin Kapsama Mesafeleri, Maliyetleri ve Kapasiteleri..	49
Tablo 5.4. Senaryo 1	52
Tablo 5.5. Senaryo 2	53
Tablo 5.6. Senaryo 3	54
Tablo 5.7. Senaryo 4	55
Tablo 5.8. Senaryo 5	56
Tablo 5.9. Senaryo 6	56
Tablo 5.10. Senaryo 8	57
Tablo 5.11. Senaryo 9	58
Tablo 5.12. Senaryo 10	58
Tablo 5.13 Senaryoların Karşılaştırılması	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
LPWAN	Low Power Wide-Area Network (Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı)
D2D	Device to Device (Cihazdan Cihaza)
IoT	İnternet of Things (Nesnelerin İnterneti)
GSM	System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
M2M	Machine to Machine (Makineden Makineye)
MIMO	Multi Input Multi Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış)
NB-IoT	Narrow Band Internet Of Things (Dar Bant Nesnelerin İnterneti)
NFC	Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)
RF	Radyo Frekans
RFID	Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı Tanımlama)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (İnsansız Hava Aracı)
UWB	Ultra Wideband (Ultra Geniş Bant)
TARAP	Türkiye Afet Risk Azaltma Planı
TAMP	Türkiye Afet Müdahale Planı
TASİP	Türkiye Afet Sonrası İyileştirme Planı
WSN	Wireless Sensor Network (Kablosuz Sensör Ağları)

WiMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access
(Mikrodalga Erişimi için Evrensel Uyumluluk)

5G

5. Generation (5.Nesil)



1. GİRİŞ

Doğal afetler geçmişten günümüze gelene kadar birçok can ve mal kaybına sebep olmuştur. Doğal afetler arasında yer alan deprem sırasında ve sonrasında iletişimin sürekliliği kritik öneme sahiptir. Bu durumlarda oluşabilecek başlıca sorunlar telekomünikasyon altyapısının zarar görmesi ve telekomünikasyon ağına meydana gelebilecek aksaklıklardır. Deprem sonrası durumlarda telekomünikasyon altyapısında oluşabilecek sorunlar nedeniyle telekomünikasyon altyapısına alternatif olarak mobil ağdan bağımsız kablosuz ağ oluşturularak iletişimin sürekliliği sağlanmalıdır. Bu süreçlerde geleneksel yöntemlerden ziyade kablosuz teknolojilerin kullanılması afet sırasında ve sonrasında yaşanacak olumsuzlukların en aza indirgenmesi konusunda büyük fayda sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında yeni nesil kablosuz teknolojiler kapsamında, mobil ağlarda yaşanan afet senaryoları baz alınarak mobil ağdan bağımsız olacak şekilde farklı kablosuz teknolojilere sahip bir iletişim ağı tasarlamak için bir karar destek sistemi modeli oluşturulacaktır.

Doğal afetlerde veya depremlerde iletişimin devamlılığı hayati öneme sahiptir. Deprem sonrası acil durumlarda telekomünikasyon altyapısında oluşabilecek sorunların tespiti ve giderilmesi büyük zaman kaybına sebep olmaktadır. Bu durumlar hızlı ve etkili müdahaleyi gerektirmektedir. Doğal afetin meydana geldiği bölgede insanların tahliyesi, arama ve kurtarma çalışmalarının sağlıklı yapılabilmesi ve ihtiyaçların acil bir şekilde tespiti, güvenliği ve ulaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu süreçlerin hızlı bir şekilde koordine edilip yapılabilmesi için güçlü bir iletişim ağına sahip olmak gerekmektedir. Geleneksel kablolu teknolojilerin bu durumlarda yeterli verimliliğe sahip olmaması sebebiyle kablosuz teknolojiler değer kazamaya başlamıştır.

Afetlere gerekli müdahaleyi yapan kurum ve kuruluşlar farklı bilişim ve iletişim teknolojilerinden faydalanmaktadır. Bu teknolojilerin sürekli değişen ve güncellenen dünyaya ayak uydurması gerekmektedir. Geleneksel telekomünikasyon iletişim hattı olan sabit kablolu iletişim sistemlerinden ziyade gelişen teknolojilerle beraber kablosuz, mobil, uydu tabanlı ve insansız hava aracı desteği olan sistemler yaygınlaşmaya başlamıştır. Geniş kapsama alanlarına sahip olma, düşük maliyet, cihaz bağlanma kapasitesi ve oldukça düşük enerji tüketimi gibi özellikleri sayesinde düşük güç geniş alan ağı (LPWAN) teknolojileri de afet ve acil durumlarda haberleşme sürecinde önemli rol oynamaktadır. LPWAN teknolojileri geniş kapsama alanları sayesinde hem şehir içi hem de şehirler arası

mesafelerde iletişimin devamlılığı açısından büyük fayda sağlamaktadır. Ayrıca son zamanlarda gelişmekte olan 5G teknolojisi tabanlı kablosuz teknolojiler de düşük gecikme süresi, minimum enerji kullanımı, daha yüksek hız ve kapasite kullanımı ile afetlere müdahale etmekle yükümlü kurum ve kuruluşlar için büyük önem arz etmektedir.

Doğal afet veya deprem sonrası durumlarda, iletişimin sürekliliğinin sağlanması için kablosuz teknolojilerin sahip olması gereken özelliklerden biri de olağanüstü durumlarda artan kapasiteyi taşıyabilecek altyapı sahip olması gerekmektedir. Bahse konu kablosuz teknolojilerin sahip olması gereken diğer bir özellik ise afet sırasında ve sonrasında yaşanabilecek enerji kaybı durumlarında yüksek düzeyde enerji verimliliğine sahip olması gerekmektedir. Bahsedilen özelliklere sahip olması gereken bu teknolojilerin afet bölgesine uygun şekilde kurulabilmesi için yüksek maliyetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu teknolojilerin afet durumlarında meydana gelecek senaryolara uygun bir biçimde planlanıp organize edilmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde doğal afet, deprem ve haberleşme kavramlarından ve doğal afet süreçlerinde meydana gelen iletişim senaryolarından bahsedilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde ise kablosuz teknolojilerden ve kablosuz teknolojilerin afet durumlarında kullanılmasından bahsedilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde küme kapsama ve hedef programlama yaklaşımları ile ilgili literatür taramasına değinilmiştir. Tezin beşinci bölümünde problemin tanımlanması yapılmış olup modelin belirlenmesi, verilerin toplanması, gerekli analizlerin gerçekleştirilmesi ve modelin farklı senaryolar üreterek çözümlerinden bahsedilmiştir. Tezin son bölümünde yer alan sonuç ve öneriler kısmında ise modelin sonuçlarının değerlendirilmesi ve gelecek çalışmalara ilham olabilecek öneriler yer almaktadır.

2. DOĞAL AFET VE HABERLEŞME KAVRAMLARI

2.1. Doğal Afet ve Deprem Kavramları

İnsanlara zarar verip can ve mal kayıplarına yola açan olaylara doğal afet denilmektedir. Afetler başladıktan sonra engellenememesi ve çok hızlı gelişmesi sebebiyle insanlık için büyük felaketlere yol açabilmektedir. Küresel ısınma ve çevresel tahribat sonucu doğal afetler tüm dünyada artış göstermektedir. Doğal afetleri jeolojik afetler ve meteorolojik afetler olarak sınırlandırabiliriz. Jeolojik doğal afetlerin kaynağı doğrudan yer kabuğudur. Deprem, heyelan, tsunami ve yanardağ gibi olayları bu afetlere örnek olarak verilebilir. Meteorolojik afetler ise atmosferdeki doğa olayları sonucunda gerçekleşmektedir. Bunlara örnek olarak sel, çığ, fırtına, orman yangınları ve hortumlar verilebilir (Sağır Yılmaz, 2023).

Doğal afetlerde meydana gelen kayıpların azaltılması, afet sonrasında arama, kurtarma ve ilk yardım faaliyetlerinin hızlı ve etkili biçimde yapılmasına bağlıdır. Afet ve acil durumlarda haberleşme en önemli gereksinimlerdenidir. Doğal afet sürecinde haberleşmenin devamlılığı meydana gelen yıkımları en aza indirmek için büyük öneme sahiptir. Bu yıkımları en aza indirmek için sürdürülebilir bir haberleşme ağının kurulması gerekmektedir. Etkili bir afet yönetimi sadece esnek bir telekomünikasyon altyapısına sahip olmanın yanı sıra sistemin etkili ve zamanında bir bilgi aktarımını imkân veren bir yapıda olması gerekmektedir. Etkin ve zamanında bilgi akışı, ilk müdahale ekiplerinden üst düzey yetkililere kadar afet yönetiminde çalışan tüm paydaşlar arasında karar verme, erken uyarı ile ikaz ve müdahale çabalarının etkin koordinasyonu için büyük önem taşımaktadır (Aytaç, 2023).

Deprem ise yerkabuğundaki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları sarsması olayıdır. Bu sarsıntılar, yer kabuğunda meydana gelen enerji birikimlerinin aniden boşalması sonucu oluşur. Depremler, önlenemeyen doğal afetlerdir ve insan müdahalesi ile tamamen durdurulamazlar. Deprem dalgaları, sismik dalgalar olarak adlandırılır ve bu dalgalar yer kabuğunda yayılırken büyük yıkımlara neden olabilir. Türkiye, dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin coğrafi konumundan kaynaklanmaktadır. Türkiye, Avrasya ve Afrika levhalarının kesişim noktasında yer almakta olup bu nedenle sismik olarak oldukça aktiftir. Geçmişte Türkiye'de meydana gelen büyük depremler, bu tehlikenin

büyükliğini ve ciddiyetini göstermektedir (İşci, 2020). Deprem sonrasında iletişimin sürekliliği, afetin yönetilmesi açısından büyük önem taşır. Deprem anında ve sonrasında iletişim hatlarının açık ve kullanılabilir olması, kurtarma ve yardım çalışmalarının hızlı ve etkili bir şekilde yürütülmesini sağlar. İletişim, bilgi akışını sağlar, koordinasyonu artırır ve kaynakların verimli kullanılmasına yardımcı olur. Bu süreçlerin etkili bir biçimde yönetilebilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

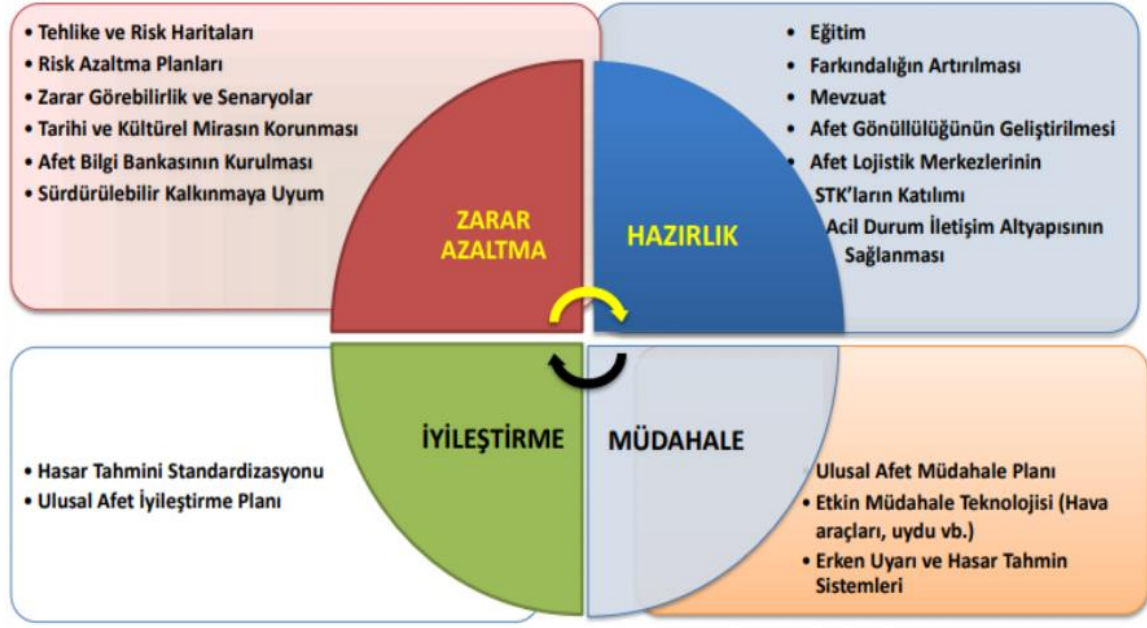
2.2. Acil Durum

Acil Durum ise ani müdahale gerektiren, beklenmedik bir anda ortaya çıkan ve hayatın olağan akışının zarar gördüğü durum olarak tanımlanmaktadır. 5902 sayılı Kanun'da, *“Toplunun tamamının veya belli kesimlerinin normal hayat ve faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan ve acil müdahaleyi gerektiren olaylar ve bu olayların oluşturduğu kriz hâli”* olarak tanımlanmıştır.

Acil durum; yaşam, sağlık, mal veya çevre için ciddi bir tehdit oluşturabilir. Örneğin, bir doğal afet, kaza veya ciddi bir sağlık krizi acil durum olarak kabul edilebilir. Acil durumlar, topluluk kaynaklarıyla çözülebilmekte olup etkili bir müdahale için hızlı ve koordineli bir tepki gereklidir (Kaymak, 2021)

2.3. Afet Yönetimi

Afet yönetimi, afet ya da acil durumun etkilerini minimize etmek için yapılan çalışmaların hepsidir. Bu yönetimin temel amacı oluşan afetleri önlemek ya da ortadan kaldırmaktan ziyade etkilerini azaltmaktır. Afet yönetimi; önlem ve zararları azaltma, hazırlık süreci, müdahale ve iyileştirme ile birlikte toplam dört temel aşamadan oluşmakta ve Şekil 2.1'de ile gösterilmektedir. Zararları azaltma sürecinde riskleri azaltma planları yapılmaktadır. Hazırlık sürecinde ise eğitim üzerinde yoğunlaşmaktadır. Müdahale kısmında ise etkin bir müdahale teknolojisinden faydalanmak gerekmektedir. Son olarak iyileştirme kısmında hasar tahminleri ve toparlanma süreci için gerekli planlar yapılmaktadır (Aydemir, 2023).



Şekil 2.1 Afet Yönetim Sistemi

Kaynak: Acil Durum ve Afet Planlaması, Ankara Üniversitesi (2020)

Afet yönetimi, olaya müdahale ve iyileştirme uygulamalarını içermektedir. Etkin bir yönetim olması için koordineli, planlı ve hazırlıklı olunması ve kaynakların en doğru şekilde kullanılması gerekmektedir. Afet yönetiminde başarılı olmak için bu aşamaların tamamında toplumun tüm kesimlerinin içine alacak şekilde planlanması, koordine edilmesi, desteklenmesi, yönlendirilmesi ve ihtiyaç duyulan mevzuat yapılanmalarının oluşturulması gerekmektedir (Öztürk, 2019).

Afet yönetiminde sistem ve veri tabanı kullanımı, afet müdahalesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, geçmiş afetlerden deneyim oluşturarak eksikliklerin tespiti, müdahale stratejilerinin optimize edilmesi ve gelecekteki afetlere karşı daha etkin hazırlık yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede, can kayıplarının azaltılması, yaralanmaların tedavisi ve sosyo-ekonomik etkilerin minimizasyonu gibi olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir (Dalğın ve Doğru, 2015).

Afet yönetimi, toplumların afet öncesi ve afet sonrası dönemlerde yaşadığı zorlukları hafifletmek ve toparlanmayı sağlamak için oluşturulan bir sistemdir. Türkiye, mevsimsel ve coğrafi özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle sıklıkla doğal afetlere maruz kalan bir ülke olup özellikle depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Marmara Bölgesi Fay Hattı gibi fay hatları, ülkenin geniş bir

bölgesinde tarihsel süreçte birçok depreme sahne olmuştur. Bu depremler genellikle yıkıcı etkilere neden olmuştur. Ancak, ülkenin etkili bir afet yönetimi sergilemesi, deprem sonrası acıları ve yıkımı en aza indirmeye yardımcı olmuştur. Bu nedenle, herhangi bir ülkede etkili bir afet yönetimi mekanizmasının bulunması son derece önemlidir (Yıldırım, 2023).

Ülkemizdeki afet yönetim sistemi değerlendirildiğinde ise AFAD, afet ve acil durum hizmetlerinin koordinasyonundan, eğitim politikalarının oluşturulmasından ve bu konularda mevzuat düzenlemeleri yapılmasından sorumludur. 5902 sayılı Kanun gereği AFAD'ın kurulması ile "Bütünleşik Afet Yönetim Sistemine" geçilmiştir. "Kriz Yönetimi" anlayışından "Risk Yönetimi" anlayışına geçen, afet öncesi hazırlık, planlama ve risk azaltma çalışmaları, eğitim ve bilinçlendirme faaliyetleri, erken uyarı ve kesintisiz haberleşme projeleri ile afetin zararlarını en aza indirmeye çalışan bir afet yönetim sistemi oluşturulmuştur. Türkiye Afet Yönetim Stratejisi kapsamında Türkiye Afet Risk Azaltma Planı (TARAP), Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP) ve Türkiye Afet Sonrası İyileştirme Planı (TASİP) ile riskin düşürülmesi, afetlere etkin müdahale ve afet sonrası iyileştirme süreçleri planlanmıştır. Elektronik haberleşme sektörü özelinde de başta deprem olmak üzere doğal afetlere karşı alınabilecek tedbirler benzer bir kategoride ele alınabilir (BTK,2024).

2.4. Haberleşme

Ses, video, görüntü ve veri benzeri bilgilerin bir noktadan diğer bir noktaya iletilmesi sürecinde haberleşme denmektedir. Haberleşme sistemi; verici cihazı, iletim ortamı ve alıcı cihazı olmak üzere üç ana birimden oluşmaktadır. Haberleşme sistemlerinde temel amaç bilginin bir noktadan başka bir noktaya aktarılmasını sağlamaktır. Haberleşme sistemleri gelişen teknoloji ile birlikte yenilenmeye devam etmektedir. Geçmişten günümüze haberleşme sistemlerini telefon, faks, internet, telsiz sistemleri, mobil iletişim sistemleri ve internet olmak üzere altı gruba ayrılmaktadır (Koç, 2023).

2.5. Telekomünikasyon

Telekomünikasyon, bilgi iletiminin temelini oluşturan, kablo, radyo, optik fiber ve diğer elektromanyetik sistemler aracılığıyla gerçekleştirilen iletişim teknolojisidir. Bu teknoloji, ses, görüntü, veri ve diğer bilgi türlerinin iletilmesi, alınması ve yayılmasını sağlayarak, uzak mesafelerdeki insanlar arasında iletişimi mümkün kılmaktadır. Telefon, televizyon, uydu ve

internet gibi araçlar, telekomünikasyonun pratik uygulamalarıdır. Bu sistemler, bilginin kodlanması, iletilmesi ve çözümlenmesi için karmaşık altyapı ve protokollerle desteklenmektedir. Telekomünikasyon, modern toplumların iletişim altyapısının temelini oluşturmakta ve küresel düzeyde insanları birbirine bağlamaktadır (Uzunal, 2023).

Telekomünikasyon alanındaki teknolojik gelişmeler, insanların iletişimde kullandığı araçların evrimini önemli ölçüde etkilemiştir. Alexander Graham Bell'in icat ettiği telefon, kablolardan cep telefonlarına ve akıllı telefonlara kadar birçok formda gelişmiştir. GSM (Global System for Mobile Communications) gibi küresel mobil iletişim sistemleri, kablosuz iletişimi hızlandırarak geniş bir kapsama alanı sunmuştur. Faks makineleri, belgelerin hızlı bir şekilde iletilmesini sağlarken, uydu ile haberleşme sistemleri uzak bölgelerdeki iletişimi kolaylaştırmıştır. İnternet, ARPANET'in temellerinden başlayarak dünya çapında bilgi paylaşımını devrimleştirmiştir. Telsiz haberleşme ise elektromanyetik dalgalar aracılığıyla veri iletimini sağlamak ve kara, hava ve denizde kullanılan farklı cihazlarla iletişimi desteklemektedir (Kütükcü, 2016).

2.6. Doğal Afet ve Depremlerin Haberleşme Süreçlerine Etkisi

Doğal afetler özellikle de depremler, iletişim sektöründe geniş çaplı etkilere neden olabilmektedir. Depremler, geçici iletişim kesintilerine yol açabilmekte ve bu da telefon hatlarının veya internet bağlantılarının kısa süreliğine kesilmesine neden olabilmektedir. Ancak, daha şiddetli afetlerde, iletişim altyapısı ciddi şekilde zarar görebilmekte ve iletişim hizmetleri uzun süreli olarak kesilebilmektedir. Özellikle, elektrik kesintileri, telefon hatlarının hasar görmesi ve internet altyapısının çökmesi gibi durumlar, insanları temel iletişim hizmetlerinden mahrum bırakmaktadır. Bu nedenle, doğal afetlerin iletişim sektörü üzerindeki etkisi, afetin şiddeti ve bölgenin altyapıya ne kadar dayanıklı olduğuna bağlı olarak değişmektedir (BTK,2024).

Doğal afetler, iletişim altyapısına, özellikle telefon hatlarına, baz istasyonlarına ve internet kablolarına zarar verebilmektedir. Bu hasar, iletişim ağlarının kesintiye uğramasına ve insanların iletişim hizmetlerine erişememesine neden olmaktadır. Diğer taraftan elektrik kesintileri, doğal afetlerin iletişim altyapısına hemen etki eden acil durumlarından biridir. Kasırgalar, hortumlar, depremler ve diğer afetler, günler veya haftalar süren elektrik kesintilerine yol açabilmektedir. Elektrik kaybı durumunda, elektrikle çalışan iletişim altyapısı, baz istasyonları, internet servis sağlayıcıları, kablo ve telefon ağları gibi sistemler

de etkilenmektedir. Bu durum, iletişim hizmetlerinin kesilmesine ve erişimin kısıtlanmasına neden olmaktadır. Elektrik olmadan, baz istasyonları ve diğer iletişim altyapısı işlevsiz hale gelmekte ve bu da bağlantıların kesilmesine neden olmaktadır. Ayrıca, insanlar cep telefonları veya dizüstü bilgisayarlar gibi cihazlarını şarj edemez hale gelmekte ve dolayısıyla iletişim yeteneklerini kaybetmelerine sebep olmaktadır. Doğal afet sonrasında, elektrik kesintileri, acil durum müdahale ekiplerinin koordinasyonunu zorlaştırmaktadır. Güvenilir iletişim ağları olmadan, acil durum hizmetlerini yönlendirmek, arama kurtarma çalışmalarını organize etmek ve diğer müdahale ekipleriyle iletişim kurmak zor hale gelmektedir. Acil müdahale ekiplerinin yanı sıra, elektrik kesintisi sonrasında bireyler de geçici iletişim hizmetlerine ihtiyaç duyabilmektedirler. Elektrik kesintileri e-posta, sosyal medya ve mesajlaşma uygulamaları gibi internete dayalı iletişim hizmetlerini de etkileyebilmektedir (BTK,2024).

Doğal afetler ve depremlerin, iletişim altyapısı üzerindeki bir diğer etkisi ağ tıkanıklığıdır. Yoğun nüfuslu veya sık sık afetlerin yaşandığı bölgelerde özellikle belirgin olan bu durum, birçok kişinin aynı anda ağa erişmeye çalışmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu durum, ağın yavaşlamasına ve hatta çökmesine neden olabilmektedir. İletişim hizmeti sağlayıcıları, doğal afetler sırasında artan talebi karşılayabilmek için ek altyapı veya bant genişliği gereksinimi duyabilmektedir. Bunun yanı sıra, bireyler ve toplumlar, ağ tıkanıklığına hazırlanmak için iletişim planları oluşturup iletişim cihazlarını tamamen şarjlı tutmaları gerekmektedir (BTK, 2024).

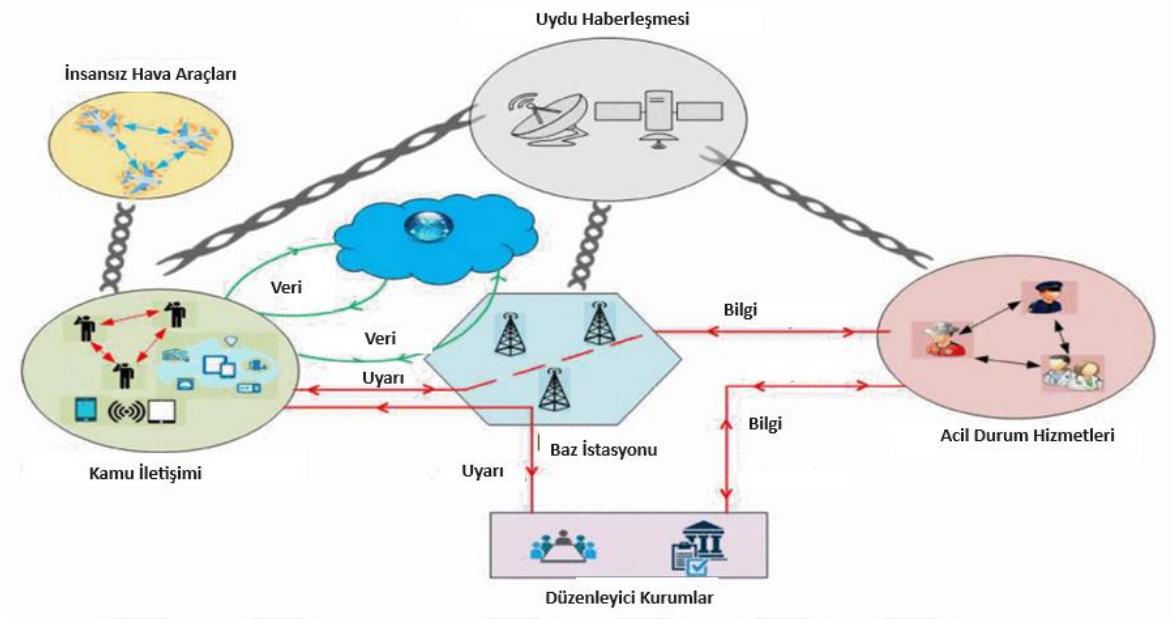
2.7. Acil Durum Haberleşmesi

Acil durum haberleşmesi genel olarak bireyler ve toplumlar arasında acil durumlarda veri ve bilgi aktarımını destekleyen genel olarak mobil ya da bilgisayar tabanlı sistemlere verilen addır. Bu sistemler birden fazla cihaz türü üzerinden birbirleri arasında veri iletmek ve acil durumlarda haberleşmeyi optimize etme amacı üzerinde tasarlanmıştır (Barrantes vd., 2010).

Acil durumlarda yüksek kaliteli ve güvenilir iletişimin sağlanması, acil durumlara etkin bir şekilde yanıt verilmesi, ilk müdahale ekiplerinin operasyonel bilgilendirme ve değerlendirme süreçlerinin etkin bir şekilde koordine edilmesi ve can ile mal kaybının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Acil durumlarda güvenli ve hızlı haberleşme, mesaj önceliklendirme, iletişim otomasyonu, hızlı mesaj teslimi, birlikte çalışabilirlik gibi yetenekler, acil durum iletişim sistemlerinin sağlaması gereken özelliklerdendir (ITU,2024).

Doğal afet ve acil durumlarında mevcut telekomünikasyon sistemleri meydana gelebilecek hasarlar yüzünden yeterli performans gösterememektedir. Sel, deprem ve kasırga gibi afetlerde baz istasyonları hasar görmektedir. Hasar almayan baz istasyonlarında bu yoğun veri ve ses trafiğine neden olmaktadır. Bu da iletişimin sürekliliğinde uzun süreli kesintilere sebep olmaktadır. Mevcut geniş bant iletişimden bağımsız olarak iletişim sürekliliğinin sağlanması amacıyla afet senaryosuna göre bir kablosuz ağ tasarlanmalıdır. Böyle bir kablosuz ağ sistemi özel donanım ve frekans bantlarına ihtiyaç duyabilmektedir. Ayrıca bu ağ sistemi afet sonrasındaki süreçlerde sınırlı güç kaynağı sebebiyle yüksek düzeyde enerji verimliliğine sahip olmalıdır. Ancak, zaman/enerji kısıtlamaları ve daha yüksek uygulama maliyeti nedeniyle böyle bir ağ çerçevesini afet bölgesinde dağıtmak son derece zor olabilmektedir. Bu nedenle, kamu güvenliğine yönelik kablosuz iletişim standartları, onları güvenilir, uygun maliyetli ve dünya çapında kullanılabilir kılmak için ticari telekomünikasyon standartlarına dayanmalıdır (Deepak G.C vd., 2019).

Afet sonrası kablosuz altyapının durumu, deprem, kasırga veya terör faaliyetleri gibi afet türlerine bağlı olarak farklı yapıda olabilir. Tüm afet senaryoları için kullanıcı cihazları arasında uyumluluk ve afet sonrası iletişim teknolojileri arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak için geliştirilmiş bir ağ sistemi ve bilgi akışı Şekil 2.2'deki gibi olabilir (Deepak G.C vd, 2019).



Şekil 2.2. Afet Sonrası İletişim Senaryosu

Kaynak: Deepak, G. C., Ladas, A., Sambo, Y. A., Pervaiz, H., Politis, C., & Imran, M. A. (2019). An overview of post-disaster emergency communication systems in the future networks. *IEEE Wireless Communications*, 26(6), 132-139.

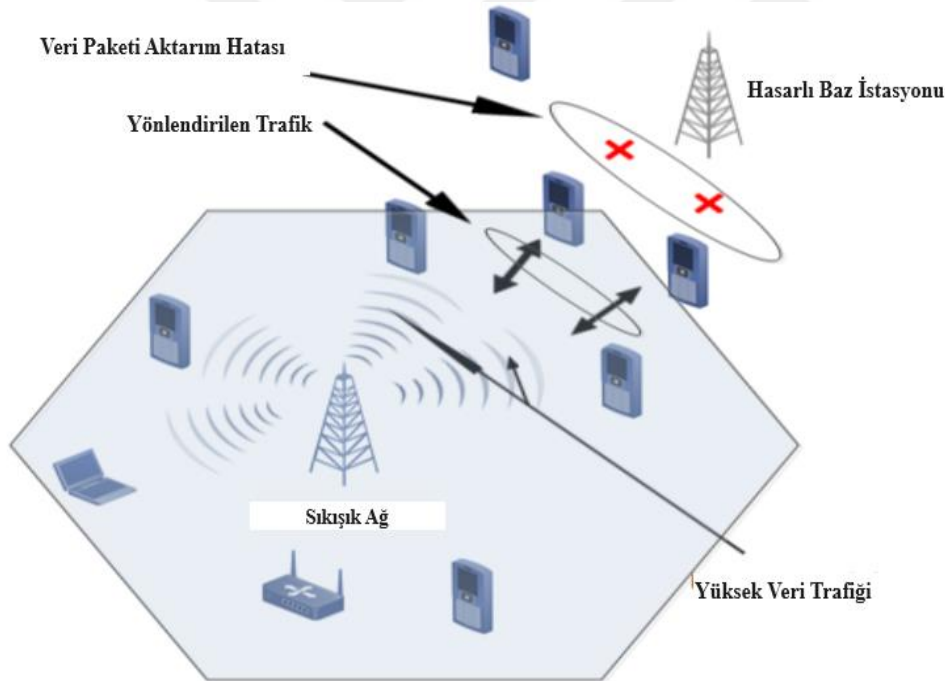
Acil durum iletişimi, ağıın kısmen işlevsiz olduğu durumlarda bile çalışabilen esnek ve güvenilir bir ağ gerektirmektedir. Esnek ve güvenilir bir ağ sistemi, yazılım hataları ve bağlantı kesintileri gibi arıza durumlarında kullanıcı trafiği etkilenmeden ve arızadan etkilenen yollardan hatasız bir şekilde yollara hızla yeniden yönlendirme yeteneğine sahip olmalıdır.

2.8. Acil Durum Haberleşmesi için Ağ Senaryoları

Acil durumlarda ve sonrasında yaşanan farklı telekomünikasyon sorunlarından dolayı kullanıcıların hareketlilik modeli tahmin edilememektedir. Kısmen veya tamamen işleyen bir iletişim ağındaki kullanıcıların trafik oluşturma modeli, acil durumun doğasına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, kullanıcıların diğer kullanıcılardan ve ağ altyapısından tamamen izole olma olasılıkları bulunmaktadır. Acil durum haberleşmesi için literatürde üç afet ağı senaryosunu tanımlanmaktadır. Bunlar; sıkışık ağ, kısmi ağ ve izole ağıdır (Deepak G.C vd., 2019).

2.8.1 Sıkışık Ağ

Acil ve afet durumlarında, mobil ağ bileşenleri ve telekomünikasyon altyapısının düzgün çalışmasına rağmen, ağ tıkanıklığı meydana gelebilmektedir. Bu durum, ani bir artışla veri ve ses trafiğinde keskin bir yükselişe neden olup ağın kapasitesini aşabilmektedir. Bu durumda yeni kullanıcılar ve acil müdahale ekipleri yeterli telekomünikasyon hizmeti alamamaktadır. Ağ tıkanıklığı, nüfus yoğunluğunun ve bilgi paylaşımı için ses ve veri hizmetlerinin talebinin daha yüksek olduğu yerlerde daha yaygındır. Normal ağ koşullarında baz istasyonlarını ve radyo kaynaklarını artırmak maliyetli olduğundan dolayı, mobil ağ altyapısı çok yüksek ağ trafiğini karşılayacak şekilde tasarlanmamaktadır. Bu ağ senaryosunda öncelikli hizmetlere sahip kullanıcıların (afet personeli, kamu personeli vs) öncelikli olarak ağa bağlanması iletişim devamlılığı açısından büyük önem arz etmektedir (Deepak G.C vd., 2019). Şekil 2.3'te bu senaryo gösterilmektedir.

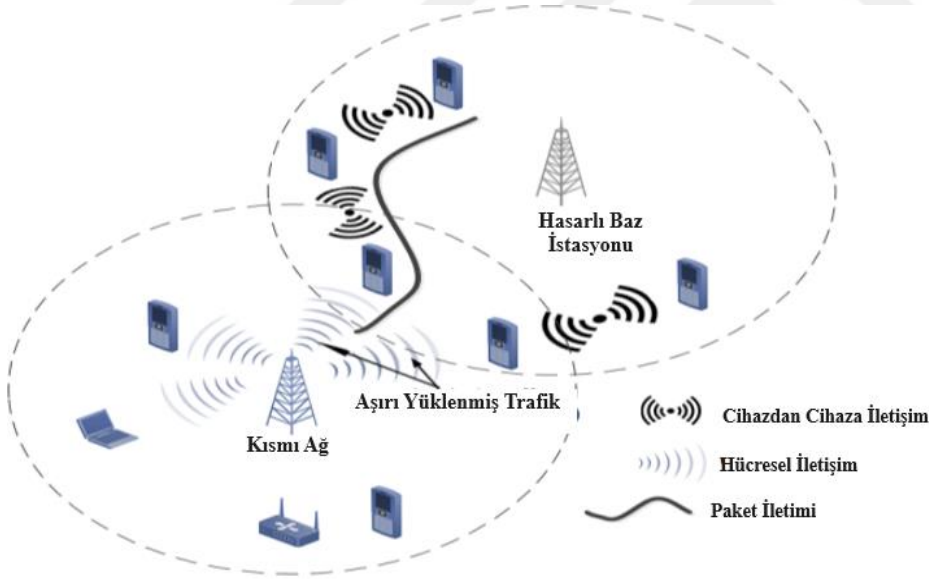


Şekil 2.3. Sıkışık Ağ Senaryosu

Kaynak: Deepak, G. C., Ladas, A., Sambo, Y. A., Pervaiz, H., Politis, C., & Imran, M. A. (2019). An overview of post-disaster emergency communication systems in the future networks. IEEE Wireless Communications, 26(6), 132-139.

2.8.2. Kısmi Ağ

Afet durumları sonrasında, baz istasyonları veya switching (anahtarlama) merkezleri gibi telekomünikasyon altyapısı kısmen hasar görebilmektedir. Bu gibi durumlarda, çok sayıda kullanıcının bağlantısının kesilmesi muhtemeldir. Bazı kullanıcılar Şekil 2.4'te gösterildiği gibi acil hizmetler için telekomünikasyon ağlarını kullanmaya devam edebilmektedir. Başka bir senaryoda ise kullanıcıların çok zayıf radyo sinyalleri nedeniyle ses veya veri gönderip alamayacakları kapalı bir alanda sıkışıp kalabilme durumları vardır. Ayrıca, baz istasyonları bir felaket meydana geldiğinde güç kısıtlamaları nedeniyle iletim gücünü azaltabilmektedir. Bu nedenle, iletişim kurmaya ihtiyacı olan kullanıcılar, ya doğrudan yukarı bağlantı iletim gücünü artırarak veya en yakın işlevsel baz istasyonlarına çevredeki kullanıcılar aracılığıyla bağlanabilmelidir. Güç kısıtlaması nedeniyle çok sekmeli iletişim kurmak için D2D (Device to device) ve M2M (Machine to machine) iletişimlerinin gerekli olduğu düşünülmektedir (Deepak G.C vd., 2019).

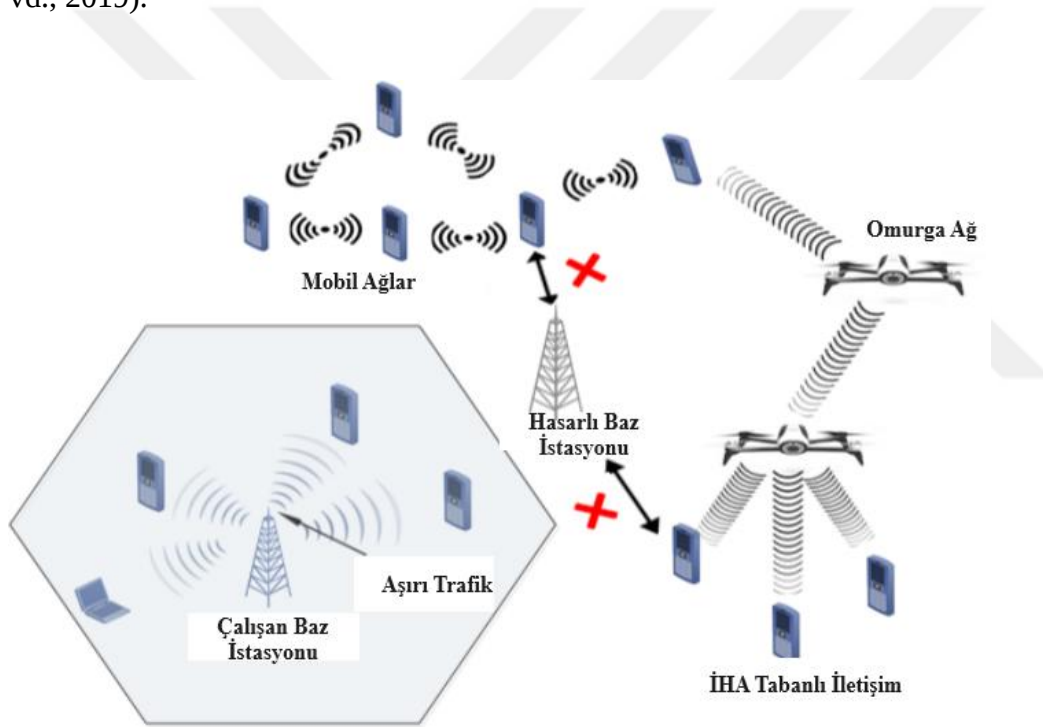


Şekil 2.4. Kısmi Ağ Senaryosu

Kaynak: Deepak, G. C., Ladas, A., Sambo, Y. A., Pervaiz, H., Politis, C., & Imran, M. A. (2019). An overview of post-disaster emergency communication systems in the future networks. IEEE Wireless Communications, 26(6), 132-139.

2.8.3. İzole Ağ

İzole ağ, iletişim kayıp oranının önemli ölçüde daha yüksek olduğu Şekil 2.5'te gösterildiği gibi omurga ağlarının arızası nedeniyle kullanıcıların tamamen izole edildiği üçüncü olası afet sonrası ağ senaryosudur. Kullanıcı cihazları, belirli bir süre boyunca baz istasyonlarından herhangi bir kontrol sinyali alınmadığında otomatik olarak izole moda geçebilmelidir. Burada, geçici kablosuz kapsama alanı sağlamak için yeni ağ dağıtmak gerekmektedir. Bu nedenle, yeni devreye alınan ağ için düşük sinyalli konum optimizasyonu ve enerji verimli yönlendirme protokolleri herhangi bir çözüm için kritik özelliklerdir. Geçici mobil ağlar ve drone destekli iletişimler bu senaryo için çözüm olabilir (Deepak G.C vd., 2019).



Şekil 2.5. İzole Ağ Senaryosu

Kaynak: Deepak, G. C., Ladas, A., Sambo, Y. A., Pervaiz, H., Politis, C., & Imran, M. A. (2019). An overview of post-disaster emergency communication systems in the future networks. IEEE Wireless Communications, 26(6), 132-139.

3. KABLOSUZ TEKNOLOJİLER VE TESİS YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ

3.1. Kablosuz Teknolojiler

Kablosuz iletişim iki veya daha fazla nokta arasında veri ve bilgi aktarımı için ortam olarak kablo ya da elektrik iletkeni kullanmayan bir iletişim türüdür. Kablosuz iletişim teknolojisi, 1876'dan beri var olmasına rağmen şu anda radyo dalgaları, mikrodalgalar veya kızılötesi dalgalar kullanılarak bir düğümden diğerine bilgi iletmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kablosuz teknolojinin önemli bir faydası bilginin herhangi bir engel olmaksızın uzun mesafelere veri iletebilmesidir. Bu nedenle kablolu teknolojilere kıyasla daha güvenilir ve kullanışlıdır. Bu nedenle, sensörler kolaylıkla izlenebilmekte, kontrol edilebilmekte ve bu da cihazı daha taşınabilir ve esnek hale getirmektedir (Ohwo,2020).

Endüstride, çeşitli cihazlar ve sensörler farklı protokoller aracılığıyla çeşitli şekillerde bağlanabilmektedir. Kablosuz iletişim için Bluetooth, Zigbee, RF (Radyo Frekans) modülleri, kızılötesi ve benzeri çeşitli IEEE standartları ve protokolleri kullanılmaktadır. Endüstride, iş yerlerinde, evlerde, sağlık hizmetlerinde, akıllı telefonlarda, dizüstü bilgisayarlarda ve birçok başka alanda kullanılmaktadır. Her kablosuz standart, ihtiyaca ve spesifikasyona göre belirlenmektedir. Örneğin, Bluetooth, birkaç metrelik menzile ve onlarca Mb'lık veri transferi gerektiği akıllı telefonlar, dizüstü bilgisayarlar, ev otomasyonları, müzik çalarlar gibi alanlarda kullanılmaktadır (Ohwo,2020).

Kablosuz teknolojilerin doğası gereği karakteristik özellikleri aşağıda özetlemiştir (Prashant, Varun, Raj, & Devendra, 2015).

- Hareketlilik: Kullanıcılar fiziksel kablolar olmadan ağa erişebilir, bu da gerçek zamanlı bilgilere her yerden erişim sağlayabilir.
- Hızlı Kurulum: Kablosuz bağlantılar kablo çekme veya altyapı değişikliği gerektirmediği için hızlı kurulum sağlayabilir.
- Esneklik: Geçici ihtiyaçlar için cihazların kolayca konumlandırılması ve kaldırılması sağlanabilir.

- Çok Atlama: Bilgi, kaynaktan hedefe birden fazla düğümden geçerek iletilir.
- Ölçeklenebilirlik: Küçük eşler arası ağlardan büyük kurumsal ağlara kadar ölçeklenebilir.
- Maliyet: Kablo çekme maliyetlerini ortadan kaldırır, bu da kurulumu daha hızlı ve uygun maliyetli hale getirir.
- Kendi Kendine Organizasyon: Ağ parametreleri otomatik olarak belirlenir.
- Enerji Tasarrufu: Yüksek verimli protokollerle enerji tüketimi optimize edilir.

Kablosuz iletişim, belirli noktalar arasında herhangi bir fiziksel bağlantı olmaksızın veri ve bilgi aktarımını içermektedir. Kablosuz iletişim iletim ortamı olarak havayı kullanmaktadır. Kablosuz teknolojilerde elektromanyetik dalgalar aracılığıyla cihazlar arasında bilgi ve veri taşınmaktadır. Kablosuz ağlarda iletişim, fiziksel altyapı veya bakım uygulamaları gerektirmediği için kablolu iletişime göre maliyet açısından daha avantajlıdır. Ulaşılabilirlik açısından düşünüldüğünde arazi yapısının uygun olmadığı bölgeler için kablosuz iletişim daha avantajlıdır. Kablosuz iletişim cihazları taşınabilir olması sayesinde esneklik ve kolaylık açısından fayda sağlamaktadır. Hız açısından düşünüldüğünde kablolu iletişim daha iyi olmasına karşın iletim hattında meydana gelen bir arıza durumunda kablosuz iletişimden daha dezavantajlı hale gelmektedir (Ohwo,2020).

Son yıllarda, kablosuz iletişim teknolojileri hızla gelişmiş ve bu gelişim, sinyal işleme, iletişim ve ağ teknolojilerindeki yeniliklerin benimsenmesiyle gerçekleşmiştir. Özellikle, MIMO (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış), işbirlikçi iletişim ve çoklu kanal girişimini azaltma gibi tekniklerinin kullanımıyla, kablosuz teknolojilerin veri iletim hızı önemli ölçüde artmıştır. Bu ilerlemeler, kullanıcılara hareketlilik ve altyapısız iletişim imkânı sunarak, dünyada büyük bir devrim yaratmıştır. Ayrıca, bu teknolojik gelişmeler, geleneksel kablo altyapısına yapılan yatırımların artık bir gereksiz yük olarak görülmesine neden olmuştur (Pervez vd., 2018). Kablosuz teknolojilerden bazıları özellikleri ile beraber aşağıda ifade edilmiştir.

3.1.1.Wi-Fi

Wi-Fi teknolojisi, bilgisayar, tablet, akıllı telefon gibi cihazları kablosuz olarak internete bağlamaya yarayan bir sistemdir. 1991 yılında Hollanda'da NCR Corporation/AT&T tarafından icat edilmiştir. Wi-Fi, bir kablosuz yönlendiriciden yayılan sinyali algılayıp

kullanabileceğimiz verilere dönüştüren bir radyo frekans sinyali içermektedir. Cihaz, internete kablo veya kablo ile bağlanan yönlendiriciye bir radyo sinyali göndermektedir. Wi-Fi teknolojisi, radyo dalgalarını kullanarak kablosuz yönlendiriciden televizyon, akıllı telefon, tablet ve bilgisayar gibi Wi-Fi özellikli cihazlara veri iletmektedir. Wi-Fi ağlarının menzili, kullanıldığı ortama göre büyük ölçüde değişmektedir. Sinyal kalitesi, çevredeki yapıların varlığına bağlı olarak azalabilmektedir. Teorik olarak 1,5 km'ye ulaşabilen menzil, kapalı alanlarda ve engellerin varlığı durumunda 300 metreye kadar düşebilmektedir. Ayrıca 2.4 GHz ya da 5 GHz frekanslarında çalışmaktadır. Modern kablosuz cihazların temel bir radyo erişim teknolojisi haline gelmesinden bu yana Wi-Fi'nin 10–100 metre menzili olduğu ve birkaç bin düğümü destekleyebildiği bilinmektedir (Deepan, Himanshu, & Hardik, 2016). Bu özellikleri ile altyapının işlevsel kaldığı küçük ölçekli bir felaket durumunda kurtarma personeli arasındaki iletişim için uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, Wi-Fi teknolojisi koordinasyon, veri iletimi ve topluluk bilgilendirme gibi önemli alanlarda etkili bir şekilde kullanılabilir. Geçici Wi-Fi ağları, afet bölgelerinde hızla kurulabilir, bu sayede kurtarma ekipleri ve afetzedeler arasında kesintisiz iletişim sağlanabilir. Wi-Fi özellikli cihazlar, geniş bant internet erişimi sunarak sağlık bilgileri, konum verileri ve lojistik bilgilerin gerçek zamanlı olarak paylaşılmasına olanak tanıyabilir.

3.1.2. Bluetooth

Bluetooth, kısa mesafede RF teknolojisini kullanarak kablo bağlantısını gereksiz kılan bir kablosuz iletişim yöntemidir. 1994 yılında Ericsson firması tarafından cep telefonları ve diğer mobil cihazlar arasında kablosuz bağlantı ve iletişim sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bluetooth teknolojisi kısa menzilli radyo frekansına dayanmakta ve bu teknolojiyi içeren herhangi bir cihaz, gerekli mesafe içinde olduğu sürece iletişim kurabilmektedir. Bluetooth teknolojisi, 2.4 GHz ISM frekans bandında çalışarak hem ses hem de veri iletimi sağlayabilmektedir. Veri aktarım hızı 24 Mbps'ye kadar çıkabilen Bluetooth cihazlarının etkili olduğu mesafe, yaklaşık 10 ile 100 metre arasında değişmektedir. Bluetooth teknolojisi, telefonları veya diğer taşınabilir ekipmanları birbirine bağlamak için tasarlanmış, yüksek hızlı, düşük güçlü bir kablosuz teknoloji bağlantısıdır. Telefonları, bilgisayarları ve diğer ağ cihazlarını kısa mesafelerde kablolar olmadan bağlamak için düşük güçlü radyo iletişiminin kullanımına yönelik bir özelliktir (Israq, 2023). Afet durumlarında kısa mesafeli kapsama alanı sayesinde arama kurtarma çalışmalarında kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca Bluetooth teknolojisi, doğal afetlerde acil

durum haberleşmesi, konum belirleme, sağlık izleme, envanter yönetimi ve topluluk bilgilendirme gibi kritik uygulamalarda kullanılabilir.

3.1.3. Zigbee

Zigbee, IEEE'nin 802.15.4 standardı kapsamında standartlaştırılmış bir kablosuz iletişim protokolüdür. Küçük boyutlu veri alışverişi gerektiren uygulamalarda kullanılan bu teknoloji, çeşitli RF uygulamalarına olanak tanımakta ve kolay kullanımı, düşük güç tüketimi ile düşük kurulum maliyetiyle dikkat çekmektedir. Zigbee teknolojisi, çoklu gözetim ve uygulama denetimi sağlayan ağ topolojilerini desteklemektedir. Pratik ve ekonomik bir ağ kurulumu sunmaktadır. Veri iletim hızı ise 0-250 Kbps arasında değişmektedir. Düşük güç tüketimi sayesinde standart bir pil ile uzun süreli kullanım sağlayıp yüksek güvenli iletişim imkânı sunmaktadır. Zigbee destekli cihazların etkin olduğu mesafe yaklaşık 10 ile 100 metre arasındadır. ZigBee ayrıca, düşük güç ve maliyetli kablosuz mesh ağ standardı olarak da tanımlanabilmektedir. Birçok uygulamada ZigBee ekipmanların aktiviteleri sınırlıdır. Ekipmanlar çoğu zaman düşük güç tüketimi olan uyku modunda çalışmaktadır. Bu çalışma prensibi sayesinde uzun süre batarya değişikliğine gerek duymadan çalışmaktadır (Bakırcı,2019). Afet durumlarında arama kurtarma faaliyetlerinde, afet sonrasında uzun süre elektrik kesintileri süreçlerinde kullanılabilir. Zigbee teknolojisi, düşük maliyeti, düşük enerji tüketimi ve geniş uygulama alanlarıyla doğal afetlerde etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu teknoloji, afet yönetim süreçlerini iyileştirerek, hızlı ve etkili müdahale imkânı sağlayıp afetzedelerin güvenliğini artırabilir.

3.1.4. WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), mobil cihazlar için 15 km, sabit cihazlar için ise yaklaşık 50 km çapında etkili kablosuz internet erişimi sağlayan bir teknolojidir. 70 Mbps hızında veri iletimi sunan WiMAX, girişimlerden kaçınarak uzun mesafelerde daha fazla veri iletimini hedefleyen ve daha verimli çalışan ikinci nesil bir protokoldür. WiMAX teknolojisi, Wi-Fi'ye kıyasla daha gelişmiş bir sistemdir. WiMAX'in sahip olduğu uyarlanabilir modüler desteği uzun mesafelere ulaşmak için bant genişliğinden faydalanmaya olanak sağlamaktadır. Kapasite ve mesafeyi arttırmak için gelişmiş teknik anten desteğine sahiptir. Güvenli bir iletim amacıyla yüksek düzeyde hata düzeltme özelliğine sahiptir. WiMAX standartlarının temel özellikleri arasında yüksek bant genişliği,

güvenlik, hizmet kalitesi, ölçeklenebilirlik, kolay kurulum, düşük maliyet ve esneklik bulunmaktadır. Bu özellikler sayesinde WiMAX teknolojisi, geniş alanlarda kablosuz iletişimi mümkün kılmaktadır. Metropol ağ bağlantısının gelişimiyle birlikte, WiMAX teknolojisi tüm bu hizmetleri tek bir ağ üzerinden sunabilmektedir (Şentürk, 2016). WiMAX, hızlı bir şekilde geçici iletişim ağları kurarak, afet bölgelerinde büyük coğrafi alanlarda acil durum ekiplerinin ve afetzedelerin iletişim kurmasını sağlayabilir. Sağlık kayıtları, kurtarma planları ve lojistik bilgileri gibi önemli verilerin hızlı ve güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayabilir.

3.1.5. NFC

NFC (Yakın Alan İletişimi), iki elektronik cihaz arasında yüksek frekansta, kısa mesafede ve düşük bant genişliğinde iletişim sağlayan bir kablosuz teknolojidir. Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) tabanlı olan NFC, düşük bant genişliğinde (en fazla 424Kbit/s) ve yüksek frekansta (13.56 MHz) veri iletimini güvenli bir ara yüz aracılığıyla gerçekleştirir. NFC, diğer kablosuz iletişim teknolojileri olan Bluetooth, WiFi ve ZigBee'ye kıyasla daha kısa mesafede ve daha düşük bant genişliğinde veri iletişimi sağlamaktadır. İki NFC uyumlu cihaz arasındaki iletişim, cihazların birbirine yaklaştırılmasıyla (0-4 cm) gerçekleştirilir. NFC'nin çok yakın mesafede veri iletimine imkân vermesi, güvenlik açısından avantaj sağlamaktadır (Özdenizci vd, 2016). NFC cihazları, GPS ile entegre edilerek afetzedelerin ve kurtarma ekiplerinin konumlarının belirlenmesine yardımcı olabilir. Bu, özellikle büyük çaplı arama kurtarma operasyonlarında önemli bir rol oynayabilir. NFC etiketleri, belirli bir bölgede bulunan kişiler hakkında bilgi toplayıp bu bilgileri merkezi bir veri tabanına ileterek kurtarma ekiplerinin koordinasyonunu sağlayabilir.

3.1.6. UWB

Ultra Geniş Bant (UWB) teknolojisi, kısa menzilli uygulamalar için tasarlanmış kablosuz iletişim teknolojisidir. Geniş bir frekans aralığında radyo frekans enerjisi üretme ve iletim özelliği ile karakterize edilmektedir. Cihazların birbirleriyle konuşmasını sağlamak için radyo dalgalarını kullanmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi, aynı zamanda daha geniş bir frekans kullanır. UWB, Wi-Fi veya Bluetooth gibi, lisanssız uygulamalarda 3,1 ile 10,5 GHz arasında değişen bir frekans spektrumu üzerinde kısa darbeleri radyo dalgalarını kullanan bir kısa menzilli kablosuz iletişim protokolüdür. UWB, pil ömrü ve pratik kullanılabilirlik

açısından mobil cihazlar için önemli bir faktör olan düşük güç sistemidir. UWB iletişimi, son derece geniş bir bant genişliği ve düşük güç spektral yoğunluğuna sahiptir. Bu özellikleri sayesinde yüksek veri iletim hızı, yüksek güvenlikli iletişim ve hassas konum belirleme yeteneği sağlamaktadır. Ancak, yüksek maliyet ve sınırlı menzil gibi faktörler nedeniyle geniş çapta kullanılması zor olmakta bu da gelişimini kısıtlamaktadır. Günümüzde, Nesnelerin İnterneti (IoT) ağlarını ve uygulamalarını desteklemek için beşinci nesil (5G) kablosuz ağ hızla gelişmektedir. Yeni IoT hizmetleri ve uygulamalarının ortaya çıkması, uzaktan robotik cerrahi ve uçan araçlar gibi daha yüksek veri iletim hızı gereksinimlerini ortaya çıkarmaktadır. Wi-Fi ve Bluetooth gibi teknolojiler bu gereksinimleri karşılayamadığından, UWB iletişimi daha fazla dikkat çekmekte ve tercih edilmektedir (Zheng vd., 2023). UWB teknolojisi, doğal afetlerde yüksek hassasiyetli konum belirleme, izleme, veri iletimi ve iletişim için kullanılabilir. Yüksek bant genişliği ve düşük enerji tüketimi sayesinde, UWB cihazları afetzedelerin ve kurtarma ekiplerinin konumlarını santimetre hassasiyetinde tespit edebilir. Bu, özellikle enkaz altında kalan kişilerin bulunmasında kritik bir rol oynayabilir. UWB, kalın duvarlar veya moloz gibi engellerin ardındaki kişileri tespit edebilir, bu da arama kurtarma operasyonlarının etkinliğini artırabilir.

3.1.7. 5G

5G, beşinci nesil kablosuz iletişim teknolojisini ifade etmektedir. Yüksek bant genişliği, düşük gecikme süresi, yoğun cihaz bağlantısı, daha iyi bant yönetimi, yüksek güvenlik seviyeleri ve çoklu giriş ve çıkış teknolojisi gibi özellikleriyle bilinmektedir. Bu özellikler, daha hızlı veri indirme ve yükleme, gerçek zamanlı uygulamalar için uygunluk, IoT cihazları için geniş kapsamlı bağlantı, daha güvenli veri iletimi ve daha yüksek ağ kapasitesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu teknoloji, IoT cihazlarını bir araya getirerek nesnelerin internetini mümkün kılmakta diğer sektörler arasında bir platform işlevi görmektedir. 5G teknolojisi, yüksek hız, kapasite ve düşük maliyetle mobil cihazlar için sınırsız veri iletişimini bir araya getirip yüksek bağlantı sağlamak için kullanılan yönlendirici ve anahtar teknolojisi ile desteklenmektedir. Ancak, bu sistemde IP tabanlı yapıların güvenlik açıklarından kaynaklanan tehditlerin önlenmesi ve veri gizliliğinin korunması önemli bir konudur (Yılmaz,2019).

Gelecek 5G sistemlerinin ağ esnekliği, yeniden yapılandırma ve dayanıklılık gibi önemli yeteneklere sahip olması ve bu nedenle afet durumu iletişiminde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Ayrıca, 5G ağları, IEEE 802.21 desteğiyle medya bağımsız el değiştirme imkânı sağlayarak, farklı ağlar arasında kesintisiz geçiş yapılmasını ve dolayısıyla afet iletişiminin kesintisiz olmasını sağlayacaktır. 5G ağları, çok daha hızlı iletim hızı sağlamanın yanı sıra IoT; makine türü iletişim, yayın benzeri hizmetler ve doğal afetler sırasında hayat kurtaran iletişim gibi yeni kullanım senaryolarını da destekleyecektir (Rawat vd, 2015).

3.1.8. LoRA

LoRa, 2009 yılında Cyclo tarafından geliştirilmiş ve 2012 yılında Semtech tarafından patentlenmiş olup 2015 yılında LoRa-Alliance tarafından standartlaştırılmış bir kablosuz iletişim teknolojisidir. LoRa düşük enerji harcayan cihazlar arasında küçük boyutta uzun menzilli haberleşme sağlamak amacıyla tasarlanmış bir tür kablosuz telekomünikasyon geniş alan ağıdır. LoRa Alliance tarafından önerilen düşük güçlü bir geniş alan ağı teknolojisidir. Yerel, bölgesel veya ulusal ağlarda çalışan kablosuz cihazlar için tasarlanmıştır. LoRaWAN ise LoRa'nın ağ mimarisi ve protokolüdür. Yıldız topolojisi kullanan LoRaWAN'da, uç cihazlar verileri kapsama alanındaki tüm ağ geçitlerine iletmektedir. Bu sayede paket kayıpları minimize edilmektedir. Ağ geçitleri verileri hücresel, ethernet veya uydu bağlantısı ile sunuculara iletilmekte ve sunucularda işlenen veriler, uygulama sunucularına aktarılmaktadır (Duman vd., 2022).

Afet yönetiminin tüm aşamalarında, LoRA teknolojisinin önemli bir rolü vardır. Örneğin, bir depremin ardından, düzenli iletişim altyapıları olan mobil telefon ağları, kablolu internet bağlantıları ve fiber veya bakır tabanlı sabit hatlar servis kesintileri yaşama olasılığı yüksektir. Sismik olaylar; altyapıları çeşitli yollarla etkileyebilir, fiberler ve kablolar aşırı gerilim nedeniyle kırılabilir, baz istasyonu kuleleri yıkılabilir ve tam olarak hizalanmış antenler hizalarını kaybedip işlevlerini durdurabilirler. Donanım arızalarının yanı sıra, elektrik enerjisinin eksikliği, gücün yeniden sağlanana kadar çoğu ekipmanın kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. Bu, hizmetlerin kesintisini önlemek için bir önleyici mekanizma olarak meydana gelebileceği gibi, hizmetlerin yıkımı sonucunda da olabilir. Altyapıların kullanılabilirliği, erişilebilirliği ve esnekliğindeki bu kısıtlamalar nedeniyle, endişeleri ele almak için LoRA teknolojisinin kullanılması tavsiye edilmektedir. IoT ve

LoRA teknolojisi müdahaleleri, günümüzdeki sık ve yoğun afetlerle başa çıkmak için önemli avantajlar sunmaktadır. LoRA, düşük güç tüketimine sahip geniş alan ağı teknolojisi olup düşük veri hızlarıyla uzun menzilli iletişimi sağlamaktadır. Afet senaryolarında LoRA tabanlı iletişim, uzun mesafelerde kritik verilerin toplanması ve iletilmesi için maliyet etkin, enerji verimli ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır. Gerçek zamanlı izleme, durumsal farkındalık ve etkili karar verme sağlamaktadır. Sonuç olarak afet müdahalesi ve iyileştirme çabalarına yardımcı olmaktadır (Webinar Brief Report, 2023).

3.1.9. Sigfox

Sigfox, düşük güç tüketimi ve uzun menzili olan LPWAN teknolojisini kullanan bir ağ teknolojisidir. Sigfox, LPWAN ağ operatörü olarak patentli teknolojisini kullanarak uçtan uca makine iletişimini sağlamaktadır. Sigfox, düşük veri iletim hızlarına sahip ancak uzun menzilli iletişim sağlayarak nesnelerin interneti cihazlarının uzun süreli pil ömrü ile çalışmasını sağlamaktadır. Bu teknoloji, sensörler, izleme cihazları, akıllı şehir cihazları ve endüstriyel ekipmanlar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Sigfox'un özellikleri arasında düşük maliyet, düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanı bulunmaktadır. Bu sayede uzun mesafelerdeki cihazlar bile ağa kolayca bağlanabilir ve veri iletebilir (Mekki, vd., 2017).

Bir afet senaryosunda, Sigfox tabanlı sensörler hasarlı bölgeleri tespit ederek kurtarma ekiplerine doğru ve hızlı bilgi sağlayabilir. Ayrıca, acil durum mesajları ve koordinasyon bilgileri Sigfox ağı üzerinden gönderilebilir, bu da kurtarma operasyonlarının daha etkili olmasını sağlayabilir. Sigfox'un doğal afetler sırasında iletişim için kullanılması, düşük maliyetli, enerji verimli ve geniş kapsama alanlı bir çözüm sunmaktadır. Bu özellikler, acil durum yönetiminde ve afet müdahale süreçlerinde büyük avantajlar sağlayabilir.

3.1.10. NB-IoT

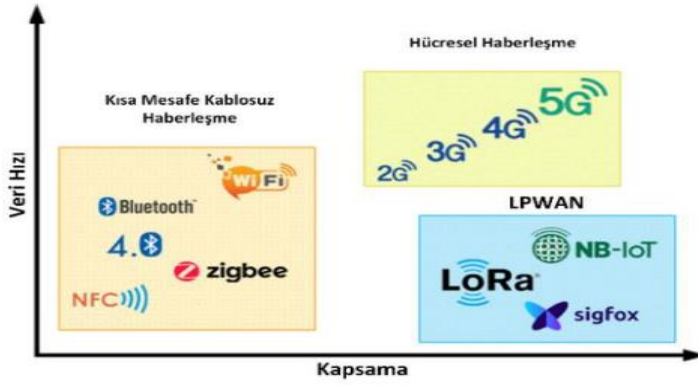
NB-IoT, "Narrowband Internet of Things" kelimelerinin kısaltmasıdır. NB-IoT, 2016'da standartlaştırılmış ve hızla benimsenmiştir. Diğer LPWAN teknolojileri olan LoRa ve Sigfox'a kıyasla, lisanslı LTE bandını kullanarak mevcut altyapıyı kullanıp kurulum maliyetlerini düşürür. NB-IoT, düşük güç tüketimi, geniş kapsama alanı ve daha düşük maliyet gibi özellikleriyle IoT uygulamaları için optimize edilmiş bir kablosuz iletişim

teknolojisi. NB-IoT, az miktarda veri iletimi yapan cihazlar için idealdir. Bu sayede pil ömrü uzayarak cihazların daha uzun süre çalışmasını sağlamaktadır. NB-IoT sinyalleri, binalar ve diğer engellerin içinden geçerek geniş bir alana ulaşabilir. Bu sayede şehir merkezleri, kırsal bölgeler ve yeraltı gibi zorlu ortamlarda da kullanılabilir. NB-IoT, diğer kablosuz iletişim teknolojilerine kıyasla daha az karmaşık bir altyapıya ihtiyaç duymaktadır. Bu da cihazların ve bağlantıların daha uygun fiyatlı olmasını sağlamaktadır (Mekki, vd,2017).

Nesnelerin interneti teknolojileri, günümüzde akıllı ev uygulamalarından akıllı şehir çözümlerine, enerji yönetiminden uzaktan izleme sistemlerine, sağlık hizmetlerinden ulaşım sistemlerinin kontrol ve optimizasyonuna kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. IoT, algılama ve veri işleme kapasitesine sahip, birbirleriyle ve internetle iletişim kurabilen cihazların oluşturduğu bir ekosistemdir. Bu teknolojiler, afet yönetim sistemlerinin verimliliğini artırmak amacıyla da kullanılabilir. IoT tabanlı bir afet yönetim sistemi, afet sonrası olumsuz etkilerin azaltılmasına büyük katkılar sağlayabilir. IoT'nin sağladığı hızlı ve doğru bilgi akışı sayesinde afet bölgesi ve afetzedeler hakkında anında bilgi edinilir ve bu sayede kurtarma ekipleri, araçlar ve diğer kaynaklar daha verimli bir şekilde koordine edilebilir. Sonuç olarak, IoT teknolojilerinin entegrasyonu, afet sonrası yönetim süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştırır ve etkinleştirir (Küçük vd., 2019).

3.1.11. LPWAN Teknolojilerinin Karşılaştırılması

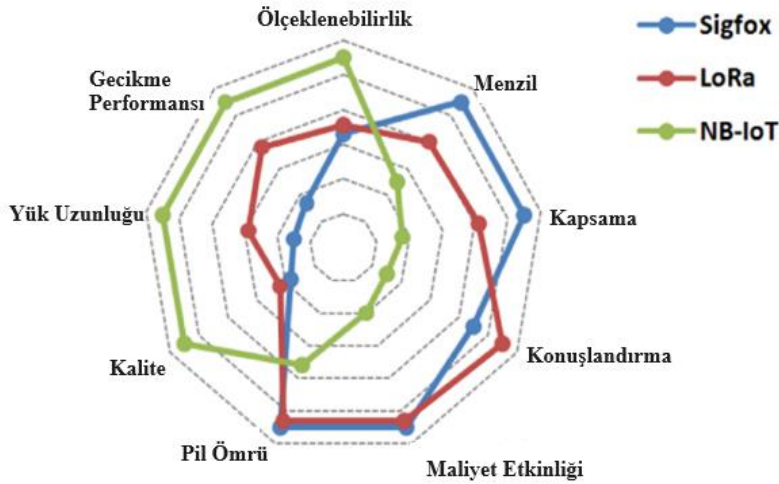
LPWAN teknolojileri, IoT için ideal olan, geniş kapsama alanı ve düşük veri hızı sunan bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. Hücreli haberleşmeye kıyasla daha uzun pil ömrü ve daha düşük maliyetli cihaz bağlantısı sağlamaktadır. Farklı LPWAN teknolojileri, maliyet, hizmet kalitesi, kapsama alanı ve enerji tüketimi gibi konularda farklılık göstermektedir. LoRa, Sigfox ve NB-IoT en popüler LPWAN teknolojileridir. Araştırma problemine uygun LPWAN teknolojisini seçmek için maliyet, hizmet kalitesi, kapsama alanı ve enerji tüketimi gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Kablosuz haberleşme teknolojilerinin mesafe ve veri hızı kapasiteleri aşağıda Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Duman vd., 2022).



Şekil 3.1. Kablosuz Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Kaynak: Duman, E., Altıntaş, M., Gül, İ., Dolu, M. (2022). LPWAN Teknolojileri ve Uygulama Alanlarının Karşılaştırmalı İncelemesi. Veri Bilimi, 5(1), 34-44

Diğer taraftan kalite açısından NB-IoT lisanslı spektrum ve senkron iletişim protokolü kullanarak yüksek hizmet kalitesi sunarken, Sigfox ve LoRa lisanssız spektrum kullanmakta ve aynı kaliteyi sağlayamamaktadır. Pil ömrü ve gecikme süresi açısından, Sigfox ve LoRa düşük enerji tüketimi ile daha uzun pil ömrü sunarken, NB-IoT senkron iletişim nedeniyle daha fazla enerji tüketmektedir. Ölçeklenebilirlik ve veri yükü uzunluğu bakımından, NB-IoT daha yüksek ölçeklenebilirlik ve veri yükü kapasitesi sunarken, Sigfox ve LoRa daha sınırlıdır. Ağ kapsama alanı ve menzil açısından, Sigfox geniş kapsama alanı sunarken, LoRa daha sınırlı bir menzile sahip ve NB-IoT ise en düşük menzil ve kapsama yeteneklerine sahiptir. Dağıtım modeli ve maliyet açısından, LoRa ve Sigfox daha düşük maliyetli ve esnek dağıtım seçenekleri sunarken, NB-IoT daha yüksek maliyetli ancak daha yüksek kaliteli hizmet sunmaktadır. Bu nedenle, her teknoloji, spesifik IoT gereksinimlerine bağlı olarak farklı avantajlar sunmaktadır (Mekki vd, 2019). Bahse konu karşılaştırmalar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. LPWAN Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Kaynak: Duman, E., Altıntaş, M., Gül, İ., Dolu, M. (2022). LPWAN Teknolojileri ve Uygulama Alanlarının Karşılaştırmalı İncelemesi. *Veri Bilimi*, 5(1), 34-44

Afet durumlarında LPWAN teknolojileri, iletişim altyapısının çöktüğü veya hasar gördüğü durumlarda kritik öneme sahip olabilir. Çünkü LPWAN teknolojileri, uzun menzilli iletişim sağlayarak geniş alanlarda cihazların birbirleriyle iletişim kurmasını ve veri aktarımını sağlar. Bu durumda, acil durum ekipleri, hasarlı alanlardaki cihazlar aracılığıyla önemli verilere erişebilir ve hızlı müdahalede bulunabilir. Ayrıca, LPWAN teknolojileri düşük güç tüketimiyle çalıştığından, uzun süreli kullanıma olanak tanıyıp afet durumlarında sınırlı enerji kaynaklarıyla daha verimli bir şekilde çalışabilir. Bu nedenle, LPWAN teknolojileri, afet durumlarında iletişim ve veri aktarımı için güvenilir ve etkili bir çözüm sunabilir.

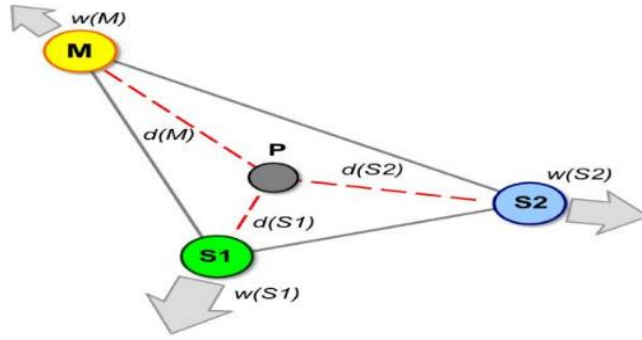
3.2. Tesis Yer Seçimi Problemleri

Tesis yerleşimi problemi, kamu ve özel sektör kuruluşlarının faaliyetlerini en verimli şekilde yürütmek ve hizmet kalitesini artırmak için tesislerinin en uygun konumlara yerleştirilmesi ile ilgili bir optimizasyon problemidir. Tesis yerleşim problemi, n sayıda tesisi, m sayıda konum arasında ($n < m$) taşıma maliyetlerini minimize edecek şekilde yerleştirme üzerine çözüm üretmektedir (Tavakkoli ve Shayan, 1998).

Tesis yerleşim problemleri, bir grup hizmet veren tesisi belirli kısıtlar altında, müşteri taleplerini karşılamak için en uygun konumlara yerleştirme ve her bir müşteriyi bu tesislere

atama amacı taşımaktadır. Bu problem, maliyetleri minimize etmek ve operasyonel etkinliği artırmak için en iyi yerleşim düzenini bulmayı hedeflemektedir. Ancak, bu tür problemlerin çözümü oldukça zor olabilir. Zorluk, birçok değişkenin ve kısıtın göz önünde bulundurulması gerekliliğinden ve problemi çözerken karşılaşılan karmaşıklıktan kaynaklanır. Akademik literatürde, tesis yerleşimi problemleri sürekli olarak ilgi çekmiş ve çeşitli tekniklerle ele alınmıştır (Kısakol, 2015).

Tesis yer seçimi problemlerinin tarihine baktığımızda, Alfred Weber, tesis yerleşimi konusundaki ilk çalışmada, üç talep noktasından birine en küçük taşıma maliyetiyle hizmet veren tesisleri belirlemek için toplam mesafeyi en aza indirmeye yönelik bir model geliştirmiştir (Jamshidi, 2009). Weber probleminin yapısının şema şeklinde gösterimi Şekil 3.3’de verilmiştir. M, S1 ve S2 olacak şekilde üç adet talep noktası bulunurken bahse konu sabit noktalar ağırlıkları ile belirtilmiştir. M talep noktası en düşük taşıma maliyetini oluştururken S1 ve S2 talep noktalarına hizmet vermesi planlanan tesis olacak şekilde belirlenmiştir (Mccann ve Shepard, 2003).



Şekil 3.3. Alfred Weber’in Yerleşim Teorisi Problemi

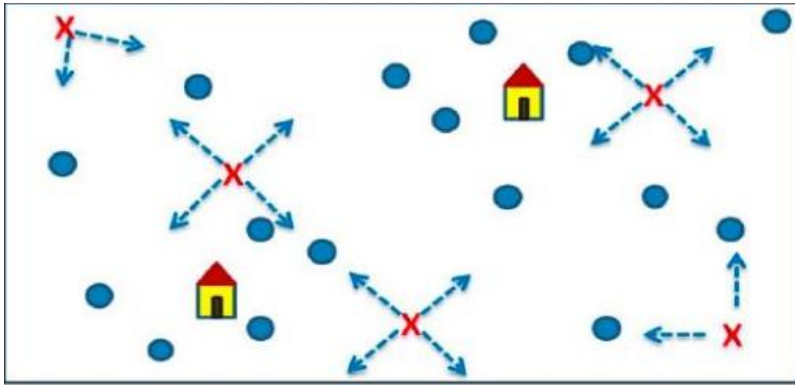
Kaynak: Kısakol, B. E. (2015). Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonlarının Yerleşim Probleminin Küme Kapsama ve Medyan Modeli Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi: Manisa İl Merkezi İçin Bir Uygulama (Yüksek Lisans Tezi). [Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa Celal Bayar Üniversitesi].

Tesis yerleşim problemleri literatürde çeşitli açılardan sınıflandırılmıştır. Daskin (1995) tarafından yapılan geniş bir sınıflandırmayı aşağıda bulunmaktadır.

- Sürekli, ayırık veya şebeke yapısında olmasına göre,
- Mesafe uzaklığına göre,

- Yerleştirilecek tesislerin sayılarına göre,
- Tek ya da çoklu ürün modelli olmasına göre,
- Statik veya dinamik yerleşim modellerine göre,
- Deterministik veya probabilistik olmasına göre,
- Tek amaçlı ya da çok amaçlı olmasına göre,
- Kamu veya özel sektör ile ilgili problemler olmasına göre,
- Esnek veya esnek yapıda olmayan talep durumuna göre,
- Kapasite kısıtlı veya kapasite kısıtsız olma durumuna göre,
- Ağaç problemi ya da genel grafik yapısında olmasına göre,
- Talebin en yakın tesis tarafından karşılanması veya dağıtılarak karşılanmasına göre,
- Hiyerarşik veya tek bir aşamalı olmasına göre,
- İstenen ya da istenmeyen tesisler şeklinde olmasına göre.

Tesis yerleşim problemleri, Sule'nin (2001) sınıflandırmasına göre; tesislerin yer seçimi ve dağıtımını optimize etmeyi amaçlayan p-medyan, p-merkez, kapasite kısıtsız tesis seçimi, kapasite kısıtlı tesis seçimi ve karesel atama gibi beş ana kategori altında incelenmiştir. Tesis yerleşim problemlerinin şematik gösterimi aşağıdaki Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Tesis Yerleşim Problemi

Kaynak: Kısakol, B. E. (2015). Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonlarının Yerleşim Probleminin Küme Kapsama ve Medyan Modeli Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi: Manisa İl Merkezi İçin Bir Uygulama (Yüksek Lisans Tezi). [Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa Celal Bayar Üniversitesi].

Tesis yer seçimi problemlerinde yaygın olarak kullanılan sınıflandırmalardan biri, sürekli, ayrık ve ağ tesis yerleşim modelleri şeklindedir. Bu sınıflandırma, farklı yerleşim senaryolarını içeren çeşitli tesis türleri ve konumlandırma stratejileri için uygun modellerin belirlenmesini sağlamaktadır. Sürekli modelde, tesisler ve talep noktaları her yere yerleştirilebilir. Bu model en esnek modeldir. Ayrık modelde tesisler ve talep noktaları sadece şebekenin düğümlerine yerleştirilebilir. Bu model daha kısıtlayıcıdır. Ağ modelinde ise talep noktaları sabittir ve tesisler ise düğümlere veya bağlantılara yerleştirilebilir (Daskin, 1995).

Literatürde geçen diğer bir sınıflandırma ise tek tesisli veya çok tesisli olarak sınıflandırmadır. Levin ve Ben Israel (2001)'e göre, çok tesisli yer seçimi problemi, m adet tesis ve n adet kullanıcıdan oluşan bir kullanıcı kümesinde $m \neq 1$ olduğu durumlarda ortaya çıkar. Revelle ve Eiselt (2005)'e göre ise, sürekli ve kesikli yer seçimi problemleri diğer bir sınıflandırma şeklidir. Sürekli problemler genellikle düzlemsel veya d -boyutlu uzayda uygulama alanı bulur ve doğrusal olmayan optimizasyon yapısını işaret ederken, kesikli problemler ise daha çok şebeke problemlerinde karşımıza çıkmakta ikili karar değişkenleri içermekte olup bu da genellikle tam sayılı programlama problemleriyle ilişkilendirilir. Hibrid modeller, sürekli ve kesikli problemlerin özelliklerini birleştirebilir. Yer seçimi problemleri, girdi setlerine ve çözüme göre statik veya dinamik olarak sınıflandırılabilir. Statik problemler, mevcut koşullara dayanan ve şartlar değişse bile geçerliliğini koruyan sonuçlar üretir. Dinamik problemler ise, zaman içinde parametrelerin değişebileceğini dikkate alır ve çözümler bu değişimlere uyum sağlar (Current vd., 2002). Tesis yerleşim problemleri genel olarak statik tesis yerleşim problemleri ve dinamik tesis yerleşim problemleri olarak sınıflandırılabilir.

Statik tesis yerleşim problemleri, sürekli, ayrık ve ağ tesis yerleşim problemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Sürekli tesis yerleşim problemleri, tesislerin belirli bir planlama alanındaki herhangi bir noktaya yerleştirilebileceğini varsaymaktadır. Performansı belirleyen temel faktörler, tesislerin konumlandırılabilceği sürekli çözüm uzayı ile tesisler ve müşteriler arasındaki mesafenin ölçülmesidir. Bu tür problemler genellikle üç ana kategoride incelenir: tek tesis yerleşim problemi, çoklu tesis yerleşim problemleri ve tesis yerleştirme ve paylaşırma problemleri (Ballou, 1968). Ayrık tesis yerleşim problemleri, aday yerleşim noktaları ile iki farklı talep kümesini içerir ve bu noktalar veya talepler kesikli parametreler olarak ele alınır. Bu problemler, genellikle belirli coğrafi bölgelerden gelen

taleplerle bağlantılıdır. İki ana kategoride incelenir: karesel atama problemi ve fabrika yerleşim problemi (Arabani ve Farahani, 2012). Ağ yapısına dayalı tesis yerleşim problemleri, düğümler ve bağlantılardan oluşan ağ yapısı içinde şekillenir ve talepler hem düğümler hem de bağlantılar üzerinde ortaya çıkabilir; bu nedenle medyan, merkez, kapsama, ana dağıtım üssü ve hiyerarşik yerleşim problemleri gibi beş ana kategoride sınıflandırılabilir (Arabani ve Farahani, 2012).

Dinamik tesis yerleşim problemlerinde, maliyet ve zaman temel ölçütler olarak değerlendirilir. Maliyet, yeni tesislerin inşası veya mevcut tesislerin yenilenmesi için gereken harcamaları ifade ederken, zaman ise planlama sürecinde açılıp kapanan tesisleri kapsar. Dinamik modeller genellikle belirli zaman ve yerlerde açılıp kapanan tesisler ile planlama döneminin başında açılıp bu dönem boyunca faaliyette kalan tesisler şeklinde iki ayrı kategoriye ayrılmaktadır (Arabani ve Farahani, 2012).



4. LİTERATÜR TARAMASI

Afet durumlarında etkili iletişim ve koordinasyon için kritik öneme sahip olan kablosuz teknolojilerin doğru bir şekilde seçilmesi, afet yönetimindeki başarıyı büyük ölçüde etkilemektedir. Bu kapsamda, afet senaryolarına uygun olarak kablosuz teknolojilerin seçilmesine yönelik bir karar destek sistemi modeli geliştirilmesi amacıyla kablosuz teknolojiler amaç programlama, küme kapsama ve p-medyan problemlerinin literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Kablosuz teknolojilerin seçilmesi tesis yer seçimi problemlerine benzer şekilde düşünülmüş olup bu çerçevede literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

4.1. Kapsama Problemleri

Tesis yer seçimi problemlerinde talep noktalarına hizmet sunumu genellikle talep noktalarının atandıkları tesislerle olan uzaklığa dayanmaktadır. Genellikle, talep noktaları kendilerine en yakın tesislere atanmaktadır. Bir tesisin bir hedefi kapsayabilmesi için, tesis ile hedef arasındaki mesafe kapsama mesafesine dahil olmalıdır; aksi takdirde, hedeflerin gereksinimlerini karşılayamamaktadır (Daskin, 1983). Kapsama problemleri, yer seçimi problemlerinin çözümleri açısından,

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

4.1.1. Küme Kapsama Problemi

Küme kapsama problemi, her bir talep noktasının en az bir tesis tarafından kapsandığı ve sınırlı sayıda aday tesis yerleşimleri arasından en ekonomik tesis kombinasyonunun bulunmasını sağlayan bir optimizasyon problemidir. Bu tesisler genellikle belirli bir hizmet yelpazesini sağlamaktadır. Yer seçimi, acil yardım istasyonlarının yerlerini belirleme, algılayıcıların yerlerini belirleme, baz istasyonu yerlerini belirleme veya arz talebi karşılamak üzere arz noktalarının belirlenmesi gibi farklı alanlarda kullanılabilir (Daskin, 1995).

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

İndisler:

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

j : küme indisi $j = 1, 2, \dots, M$

Parametreler:

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

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

Karar değişkenleri:

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

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } \sum_j f_j * x_j$$

Kısıtlar:

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

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

Amaç fonksiyonu seçilmesi beklenen tesislerin toplam maliyetini minimize etmeyi hedeflemektedir. Kısıt seti (2.1) her talep noktasının en az bir tesis/küme tarafından kapsanmasını sağlamaktadır. Kısıtın sağ tarafındaki değer, talep noktasını kapsayacak tesis/küme sayısını ifade etmektedir. Kısıt seti (2.2) x değişkenini 0-1 olarak tanımlamaktadır.

4.1.2. En Büyük Alan Kapsama Modeli

En büyük kapsama alanı problemi, belirli bir coğrafi bölgedeki mevcut hedeflerin en fazlasına ulaşabilen tesis veya kümelerin konumunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu tür problemlerde, tesis sayısı sınırlı olup maliyet, arazi yapısı, mevcut personel ve ekipman gibi

faktörler ya da benzer kısıtlamalar nedeniyle belirli bir sayıda tesis kurulabilir. Temel hedef, bu tesislerin konumunu belirlerken mümkün olan en yüksek sayıda hedefi kapsayabilmektir (Kara, 2014). N tane noktanın ve M tane tesis alternatifinin olduğu bir ağ için en fazla P tane tesis açmanın mümkün olduğu en büyük kapsama alanı modeli şu şekildedir;

İndisler:

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

j : küme indisi $j = 1, 2, \dots, M$

Parametreler;

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

$P =$ kurulacak tesis sayısı

Karar değişkenleri;

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

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

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Max } \sum_i h_i * z_i$$

Kısıtlar:

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

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

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

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

En büyük alan kapsama modelinin amaç fonksiyonu, toplam kapsanan talebi maksimum yapmaya çalışmaktadır. Kısıt seti (2.3) talep kapsanacaksa, kapsama alanında bir noktasına tesis kurma zorunluluğunu ifade etmektedir. Kısıt seti (2.4) kurulabilecek olan tesis sayısının

en fazla P adet olmasını sağlamaktadır. Kısıt setleri (2.5) ve (2.6) ise değişkenleri tanımlamaktadır (Kara, 2014).

4.2. P-Medyan Problemleri

P-medyan problemi, tesislerin nerede konumlandırılacağını belirleyen bir algoritmadır. Amaç, talep noktaları ile tesisler arasındaki toplam mesafeyi en aza indirmektir. Bu sayede, ulaşım maliyetleri düşürülmekte ve verimlilik arttırılmaktadır. Algoritma, her bir talep noktası için en yakın tesise olan mesafeyi hesaplayıp bu mesafeleri ağırlıklandırılmış bir şekilde toplamaktadır. Ağırlıklandırma faktörleri, talep yoğunluğu veya mesafe gibi kriterlere göre belirlenebilir. P-medyan probleminin çözümü, optimal tesis yerleşimlerini belirleyerek servis sunumunun etkinliğini arttırmaktadır. Hakimi (1964) tarafından tanımlanan p-medyan problemi, bir ağın düğümlerindeki optimal çözüm olarak ortaya konmuştur. ReVelle ve Swain (1970) bu problemi tam sayılı programlama olarak formüle etmişlerdir. Carbone (1974) ise özellikle tıbbi veya günlük bakım merkezleri gibi sabit kamu tesislerine olan dolaşım mesafesini minimize etmeyi hedefleyen bir deterministik model geliştirmiştir. P-medyan veya minisum problemi olarak da bilinen bu problem, p-medyan probleminin genişletilmiş bir versiyonudur. Chardaire ve Lutton (1993) telekomünikasyon terminallerinde tesislerin farklı tiplerini açıklamak için p-medyan problemini kullanmışlardır. Densham ve Rushton (1996) her bir tesisin minimum iş yüküne ihtiyaç duyduğu bir p-medyan problemi üzerinde çalışmalar yapmıştır (Reese, 2005).

P-medyan problemi, n adet talep noktasına hizmet verecek p adet tesisi, sistem genelinde ağırlıklı maliyeti en aza indirecek şekilde ağ üzerinde konumlandırmayı hedefler (Hakimi, 1965). Bu problem ayrıca, yerleştirilen tesislerden hizmet alacak talep noktalarının en yakın tesise atanmasını da içerir (Bastı, 2012). P-medyan problemine ilişkin değişkenler, amaç fonksiyonu ve kısıtları içeren matematiksel formülasyon aşağıdaki gibidir (Rolland vd., 1997).

Karar değişkenleri ve parametreler:

i = mahalle no, $i = 1, 2, 3, \dots, m$

j = olası lojistik depo alanları, $j = 1, 2, 3, \dots, n$

a_i = i. mahallede oluşacak talep, $i = 1, 2, 3, \dots, m$

d_{ij} = i . mahalle ile j . lojistik deposu arasındaki mesafe

p = kurulacak lojistik deposu sayısı

$x_{ij} = \{ 1, i. mahalle j. lojistik deposuna atanırsa 0, aksi halde$

$y_j = \{ 1, j. alan lojistik deposu olarak seçilmişse 0, aksi halde$

$$\min. z = \sum_i \sum_j a_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Kısıtlar

$$\sum_j x_{ij} = 1, \quad \forall_i \quad (2)$$

$$x_{ij} - y_j \leq 0, \quad \forall_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p, \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \quad \forall_{ij} \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu (1), lojistik depoların açılacağı bölgeler ve bu depolara atanacak mahallelerin toplam mesafesini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Kısıt (2), her mahallenin yalnızca bir lojistik depo alanına atanmasını sağlar. Kısıt (3), bir lojistik depo alanının ($y_j = 1$ durumunda), belirli bir mahallenin talebini karşılayacağını ifade etmektedir. Kısıt (4), p adet lojistik depo alanının kurulacağını belirtmektedir. Kısıt (5) ise karar değişkenlerinin yalnızca 0 veya 1 tam sayı olabileceğini belirlemektedir.

4.3. Hedef Programlama

Hedef programlama, karar vericinin belirlediği hedeflere ulaşmanın tam olarak mümkün olmadığı durumlarda bu hedeflere ulaşılamayan kısmı minimize etmeyi amaçlayan analitik bir yöntemdir. Bu yöntem, maksimize veya minimize edilmesi gereken tek bir amaç yerine birden çok ve çelişen amaçların aynı anda göz önünde bulundurulmasına imkân tanır. Böylece, çeşitli hedefler arasında denge kurularak, en az sapmalı ve tatmin edici çözümlerin bulunmasına yardımcı olur. Hedef programlama, çok kriterli karar vermenin bir türüdür ve birden fazla amaç içeren problemlerin çözümünde sıkça kullanılmaktadır (Özcan ve Toklu, 2009).

Hedef programlama, ilk kez 1955 yılında Charnes, Cooper ve Ferguson tarafından üst düzey yönetici maaşlarının analizi kapsamında yapılan bir çalışmada ifade edilmiştir (Ignizio ve Romero, 2003). Lee ve Ignizio ise 1970'lerin başında hedef programlamaya atfedilen ilk kitapları yazmışlardır (Sinha ve Sen, 2011.). Ayrıca, Ijiri, Romero, Jones, Tamiz ve diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, hedef programlamanın genişletilmesine ve geliştirilmesine katkı sağlamıştır (Ignizio ve Romero, 2003). Bu çalışmalar, 1970'lerin ortalarından günümüze ulaşana kadar birçok farklı uygulamanın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu bağlamda, karar verme problemlerindeki çoklu ve çelişen amaçların analizi için hedef programlama, literatürde sıkça kullanılan güçlü ve etkili bir yöntemdir.

Hedef programlama, doğrusal programlamadan farklı olarak amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek yerine, hedeflere ulaşma sürecindeki sapmaların minimize edilmesine odaklanır. Doğrusal programlamanın simpleks algoritmalarında olduğu gibi, bu sapmalar aylak değişkenler olarak adlandırılır ve hedef programlamada önemli bir rol oynarlar. Her bir hedef veya alt hedef için, pozitif ve negatif sapmalar olmak üzere iki boyutta temsil edilen sapma değişkeni, hedef programlamadaki ana amaç olan bu sapmaların minimize edilmesini sağlar (Sinha ve Sen, 2011). Genel hedef programlama modeli, matematiksel olarak Lee (1973, s. 28) tarafından aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{Min } Z = \sum_i^m (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

s.t.

$$Ax - Id^+ + Id^- = b \quad (2)$$

$$x, d^+, d^- \geq 0 \quad (3)$$

Bu modelde; m hedeflerin, m elemanlı sütun vektörünü ($b_1, b_2, \dots, b_m$) ifade etmektedir. A; hedefler ve alt hedefler arasındaki ilişkiyi ifade eden $m \times n$ 'li matrisi göstermektedir. x; alt hedeflerdeki ($x_1, x_2, \dots, x_n$) değişkenleri temsil eder. d^+ ve d^- hedeflerden sapmalardır. I ise; m boyutlu birim matristir (Sinha ve Sen, 2011).

4.4. Kablosuz Teknolojiler ve Doğal Afetler ile İlgili Çalışmalar

Pervez vd. (2018) tarafından yayınlanan makalede afet durumlarında hızlı acil müdahalenin önemini vurgulanmış ve eski kablolu sistemlerin yetersizliğinden yola çıkılarak kablosuz teknolojilere odaklanılmıştır. Farklı kablosuz teknoloji ve sistemlerin avantajları ve dezavantajları incelenmiş ve kamu güvenliği kurumlarına yönelik genel yönergeler sunulmuştur.

D. G.C vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada tipik afet sonrası iletişim için 4G LTE (Long Term Evaluation) yaklaşımları ve bu yaklaşımların eksiklikleri tartışılmıştır. Ağın yoğun, kısmen işlevsel veya tamamen izole olduğu üç tipik afet sonrası ağ senaryosu ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Afet sonrası senaryo için olası çözüm çerçeveleri, örneğin cihazdan cihaza iletişim, drone destekli iletişim, mobil ad hoc ağlar ve nesnelerin interneti teknolojileri tartışılmıştır.

Adeel vd, (2019) tarafından yayınlanan çalışmada iklim değişikliği ve diğer ekolojik faktörlerden kaynaklanan felaketlerin tahmin edilmesi ve yönetilmesinin zorlukları ele alınarak afet yönetiminde kullanılan IoT, kablosuz sensör ağları (WSN'ler), 5G kablosuz iletişim ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerden bahsedilmektedir. Bu kapsamda kablosuz iletişim teknolojilerinin afet yönetimindeki potansiyeli için bir anket çalışması yapılmıştır. Bu çalışma, araştırmacılara gelecekteki çalışmaları planlamak için fırsatlar ve zorluklar hakkında bir bakış sunmaktadır.

Matracia vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada afet sonrası kablosuz iletişim ağlarına ilişkin mevcut literatürü gözden geçirmekte ve böyle ağların gelecekteki kurulumuna ilişkin sonuçlar sunmaktadır. Afet sonrası iletişim için teknolojik çözümleri, yer yüzeyi altyapısının iyileştirilmesini, havadan ağların kurulmasını ve uzaydan ağların kullanılmasını ele almaktadır. Afetlere karşı genel prosedürlerin yanı sıra, fiziksel ve ağlama konularını da ele almakta ve acil durum senaryolarında ad hoc ağ mimarilerinin dağıtımı hakkında pratik bilgiler sunulmaktadır.

Erdelj vd, (2017) tarafından yapılan makale çalışmasında Kablosuz Sensör Ağları (WSN) ve insansız hava araçlarının (UAV) doğal afet yönetimi bağlamında oynadığı rolü belirlenmiştir. WSN ve UAV'leri içeren sistemlerin başlıca uygulamaları, afet yönetimi

aşamasına göre sınıflandırılmış ve ilgili araştırma faaliyetlerinin bir incelemesi sunulmuştur. Bu çalışmanın ana hedefleri, insanların refahını artırmak için faydalı teknik sonuçları sunmak ve tam bir afet yönetimi sisteminin tanımında alanında bir adım öne taşımaktır.

Wang vd, (2023) tarafından yayınlanan çalışmada acil durum iletişim ağlarının gelişimi hakkında güncel bir araştırma sunulmuştur. Ayrıntılı bir inceleme yapılarak, acil durum iletişim ağı teknolojisinin kapsamlı bir tartışmasına odaklanılmıştır. Bunlar arasında uydu ağları, ad hoc ağlar, hücresele ağlar ve kablosuz özel ağlar bulunmaktadır. Daha sonra, acil kurtarma operasyonlarında kullanılan mevcut ağlar, geniş bant küme ağı ve 5G uydu ağı analiz edilmiştir. Son olarak, acil durum iletişim ağı için gelecek yönelimler konusunda yeni bir bakış açısı sunarak bu araştırmayı tamamlamıştır.

Cheimaras vd, (2023) tarafından yayınlanan makale çalışmasında acil durum iletişim sistemlerine üzerine odaklanılarak afet durumlarında iletişimi sağlamak için geleneksel olmayan ve hibrit iletişim yöntemleri üzerine araştırma yapılmıştır. Makale, önerilen ve simüle edilen bir ECS sistemi üzerinde durmaktadır. Bu sistem, otonom bir kablosuz 4G/LTE baz istasyonundan ve LPWAN ve SD-WAN teknolojilerini birleştiren hibrit bir IoT iletişim platformundan oluşmaktadır. Bahse konu platform iletişim seçeneklerinin çıktığı durumlarda insanların bilgi alışverişinde bulunmasını sağlayan ECS, ağı tabanlı sistemlerdir. Bu sistemler, yazılım uygulamaları ve IoT platformları aracılığıyla özelleştirilebilir ve LPWAN gibi teknolojiler kullanarak iletişimi sağlamaktadır.

Sissini vd, (2020) tarafından yapılan çalışmada IoT cihazlarının acil durumlarda daha etkili iletişim kurmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle düşük güçlü geniş alan ağları kullanılarak yapılan bu iletişimde, acil durum mesajlarının hızlı ve güvenilir bir şekilde iletilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada cihazlar normal şartlarda standart IoT iletişimi yapmaktadır. Ancak, acil bir durum meydana geldiğinde, cihazlar yeni bir iletişim yöntemi olan LoRa-REP (LoRa Replication) moduna geçmektedir. LoRa-REP, acil durumlarda mesajların birden fazla kez gönderilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu sayede mesajın hedefine ulaşma olasılığı artırılır ve mesajın iletim süresi kısaltılır. Bu çalışmada iki farklı operasyonel paradigma ele alınmıştır: halka açık LoRaWAN altyapısı ve özel LoRaWAN ağları. Halka açık LoRaWAN altyapısı, genellikle şehirlerde kullanılan akıllı şehir uygulamalarında görülmekte olup bulut tabanlı bir sistem ile çalışmaktadır. Özel LoRaWAN ağları ise sanayi veya bina otomasyonunda kullanılmakta olup yerel bir sistem çalışmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma IoT cihazlarının acil durumlarda daha güvenilir ve hızlı bir şekilde iletişim kurmasını sağlayan yeni bir yöntem sunmaktadır.

Seba vd, (2019) tarafından yayınlanan makale çalışmasında afet yönetimi sırasında iletişim ağlarının önemine odaklanılmıştır. Bu kapsamda afet anlarında, mevcut iletişim ağları genellikle hasar aldığı için hızlı bir şekilde güvenilir, esnek, uyumlu, düşük maliyetli ve güvenli bir ağın kurulması gerekli olduğu ve kablosuz ağlar bu ihtiyacı karşılayabileceğinden bahsedilmiştir. Bu makalede, afet yönetimi için gerekli iletişim altyapısının ve güvenlik açısından incelenmesi gereken konuların bir genel görünümü sunulmaktadır.

Kamruzzaman vd, (2017) tarafından yapılan çalışma afet sonrası yönetim için IoT tabanlı önerileri incelemeyi amaçlamaktadır. Geleneksel telekomünikasyon sistemlerinin felaket durumlarında zarar görebileceği göz önünde bulundurularak, IoT'nin umut verici bir teknoloji olduğu vurgulanmaktadır. Afet sonrası müdahale ve kurtarmada IoT'nin nasıl kullanılabileceği üzerine fikirler sunulmaktadır. Makale, IoT'nin temel teknolojilerini tartışmakta ve afet sonrası yönetimde nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini ele almaktadır. Ayrıca, cihazdan cihaza iletişime dayalı geçici ağ oluşturulması için yeni bir algoritma önerilmektedir.

Tarjan vd. (2018) tarafından yapılan makale çalışması doğal afetler sırasında, veri alışverişi ve işleme için kullanılabilecek dağıtılmış zekaya sahip LPWAN'ın kullanılması ele almaktadır. Bahse konu teknolojilerin GSM ağ operatörlerinin sunduğu kablosuz ve iletişim sistemlerinin tüm altyapısının yerini alma olasılığını ele alınmaktadır.

Chaudari vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada düşük güç geniş alan ağının uzun menzilli ve düşük güç tüketimine sahip IoT iletişim uygulamaları için umut verici bir çözüm olduğunu belirtilmiştir. Makale, LPWAN'ların uzun pil ömrü, geniş kapsama alanı, yüksek kapasite ve düşük maliyet gibi özelliklere sahip olduklarını vurgulamaktadır. Ayrıca, pazardaki LPWAN teknoloji çözümlerini ve 5G teknolojisinin LPWAN'larla ilişkisini ele almaktadır.

Mekki vd. (2019) tarafından yapılan çalışma Sigfox, LoRa ve NB-IoT'un teknik farklılıklarını özetlemiş ve bunların IoT faktörleri ile temel sorunlar açısından avantajlarını tartışmıştır. Ayrıca her teknolojinin IoT pazarında kendi yerinin olacağı belirtilmiştir.

Küçük vd, (2019) tarafından yapılan çalışmada IoT teknolojilerini kullanan ve bulanık mantık temelli bir karar destek sistemine sahip bir afet sonrası yönetim sistemi önerilmektedir. Bu sistem, afetten etkilenen bina hasarları ve etkilenen kişi sayısı gibi bilgileri toplayarak, kurtarma personeli, ekipman ve araç gibi kaynakların etkin yönetimini ve planlamasını sağlamayı amaçlamaktadır. Önerilen sistemin başarımı, 7 baz istasyonu, 50 Wi-Fi erişim noktası ve 10 IoT cihazı içeren bir senaryo üzerinde değerlendirilmiştir. Bina hasar durumları ve afet bölgesindeki insan yoğunluğu bilgileri, bulanık mantık temelli karar destek sistemi ile üç farklı renkte görselleştirilmiş ve sınıflandırılmıştır.

Koç ve Sarıkaya (2024) tarafından yayınlanan makale çalışmasında Türk Kızılayı'nın afet depolarının yerleştirilmesi Türkiye afet haritası ve son yıllarda yaşanan afetler göz önünde bulundurularak çalışma gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak seçilen İzmir Bölge Afet Yönetim Merkezi'nde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak öncelikle her bir Kızılay deposunun afet olaylarına müdahale kriterlerine göre kapsama mesafeleri, daha sonra müdahale gerektiren afet olayları için talep noktaları ve ardından bölgesel özelliklere göre farklı önem derecelerine sahip potansiyel depo noktaları için aday noktalar belirlenmiştir. Tesis edilecek depolar için en uygun yerler belirlenirken tesis yeri seçimi problem türlerinden en büyük kapsama problemi seçilmiştir. Zamana bağlı farklı mesafe ölçümleri için altı senaryo oluşturulmuştur.

Hashtarkhani, vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada İran'ın kuzeydoğusundaki bir ilçede acil tıbbi hizmetlerin (EMS) kapsamını artırmak için matematiksel optimizasyon tekniklerini coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile entegre etmektedir. EMS talep noktaları, bir yıl boyunca EMS çağrı verilerinin analizi yoluyla belirlenmiştir. Kapasite eşiği olan bir maksimal kapsama yerleşim problemi (MCLP) formüle edilmiştir. Yazarlar, CBS tekniklerinin optimizasyon modellemesi ile entegrasyonunun, özellikle zamanın sınırlı olduğu durumlarda, kıt sağlık kaynaklarının etkili yönetimine olanak sağlayabileceğini göstermiştir.

Centelles vd, (2021) tarafından yapılan çalışmada deprem sonrasında sivillerin güvenlik bilgisi paylaşımını sağlamak amacıyla geliştirilen LoRaMoto adlı iletişim sistemini

tanıtılmaktadır. LoRaMoto, LoRaWAN mimarisini genişleterek sistemin uç noktaları arasında paket iletme mekanizmasını uygulayıp deprem sonrası olası altyapı kesintilerinin üstesinden gelmektedir. Bu sistem, sivillerin durumlarını başkalarıyla paylaşmalarını ve acil durum yönetimi operasyonlarını desteklemek için bilgilerin toplanmasını sağlamaktadır. Gerçekçi bir ortamda yapılan simülasyonlar, LoRaMoto sisteminin sivillerin iletişim ihtiyaçlarını karşıladığını ve ilk müdahale ve acil durum yönetim organizasyonlarını bilgilendirdiğini göstermektedir.





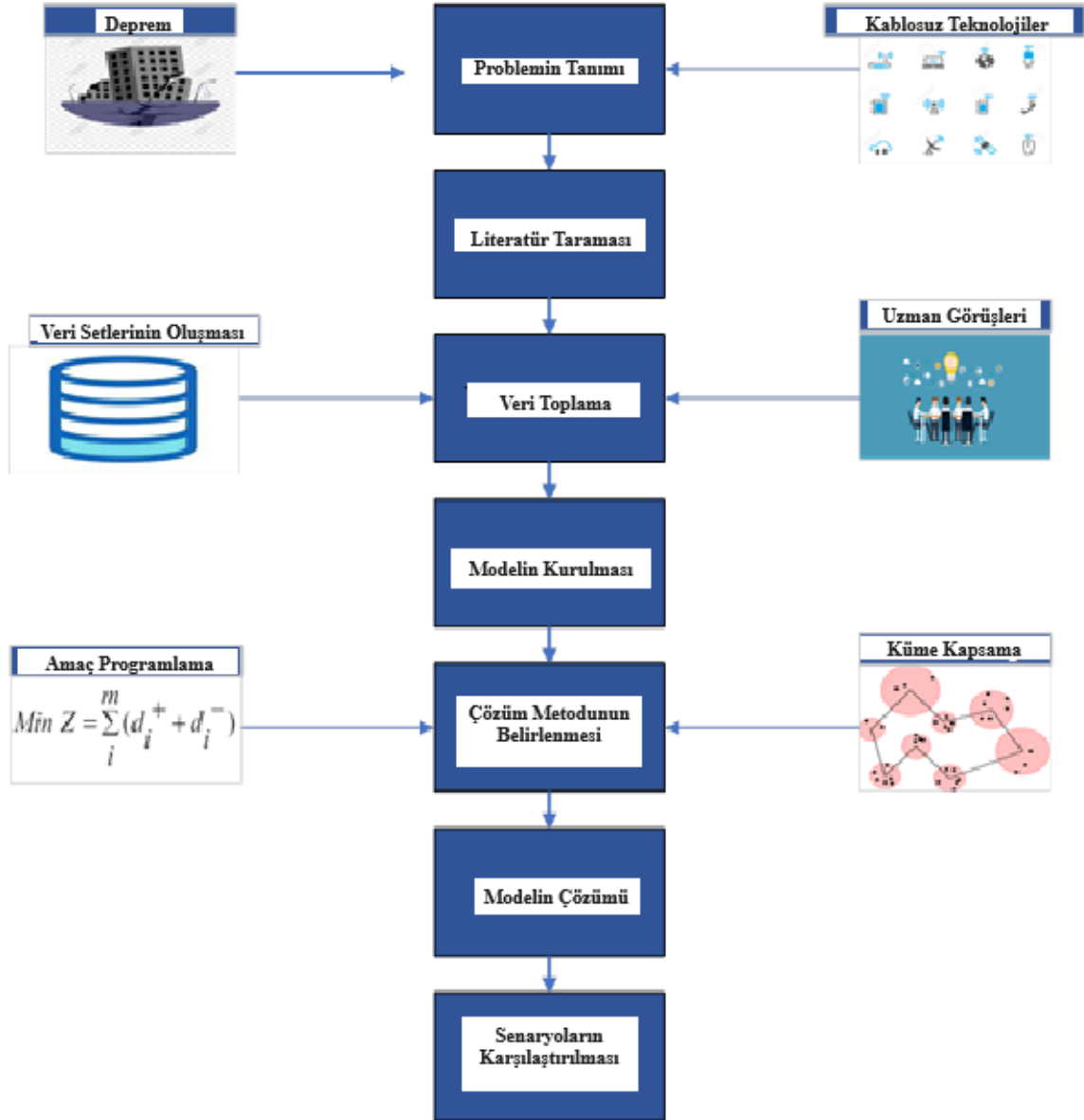
5. DEPREM SONRASI İLETİŞİMİN SÜREKLİLİĞİ AMACIYLA AFET SENARYOLARINA GÖRE KABLOSUZ TEKNOLOJİLER İLE BİR MODEL ÖNERİSİ

5.1 Problemin Tanımı

Doğal afetlerde ve deprem sonrasında kullanılacak kablosuz teknolojilerin seçilmesi için kapsama problemlerini ele almak, belirli bir bölge veya alan için en iyi kapsama sağlayan teknolojiyi belirlemek anlamına gelmektedir. Özellikle küme kapsama problemleri, kapsama problemlerinin bir türü olup bu tür problemler, bir bölgeyi (veya noktalar kümesini) minimum sayıda kapsayacak şekilde bir dizi kapsama alanı veya hizmeti seçme problemidir. Kablosuz teknolojilerin kapsama alanı, belirli bir kablosuz iletişim teknolojisinin veya ağı cihazlarının iletişim sinyallerinin yayılma kapasitesini ifade etmektedir. Kapsama alanı, birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterebilmekte olup bahse konu kapsama alanı, haberleşmenin devamlılığı için büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, deprem sonrasında iletişimin sürekliliği amacıyla mobil şebekelerde yaşanan afet senaryolarından (sıkışık, kısmi ve izole ağ) yola çıkılarak mobil şebeke ağından bağımsız olarak LPWAN kablosuz teknolojileri kullanılarak bir karar destek sistemi modeli kurulmuştur (Deepak G.C vd., 2019). Bahse konu model, farklı senaryolarda GAMS paket programı ile çözülerek atamalar yapılmıştır. Ayrıca farklı bütçe kısıtları ve aday noktalarının ağırlıklandırılma durumlarına göre de bahse konu atamalar gerçekleştirilmiştir.

Geniş kapsama alanına sahip uzun menzilli kablosuz LPWAN teknolojileri kullanılarak İstanbul'un Zeytinburnu ilçesinde uygulanmak üzere bir karar destek sistemi modeli oluşturulmuştur. Modelde alınan problemde LoRa, Nb-IoT ve SigFox teknolojilerinin farklı kapsama mesafeleri altında aday noktalarına yerleştirilerek talep noktalarının hepsinin kapsaması hedeflenmektedir. Çalışmada amaç fonksiyonun ilki hedeflerden istenmeyen sapmaları minimize eden hedef programlama yaklaşımıyla kurulmuştur. Ayrıca maliyetin minimize edilmesi ve aday noktalarının risk paunlarına göre atama yapılması da diğer amaç fonksiyonları olarak ifade edilmiştir. Ek olarak belirli risk kriterleriyle ağırlıklandırılmış talep noktaları ile aday ve talep noktalarının kapasiteleri de modelde kısıt olarak ele alınmıştır. Bu çerçevede modelin kurulması sürecini ifade eden iş akış diyagramı Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

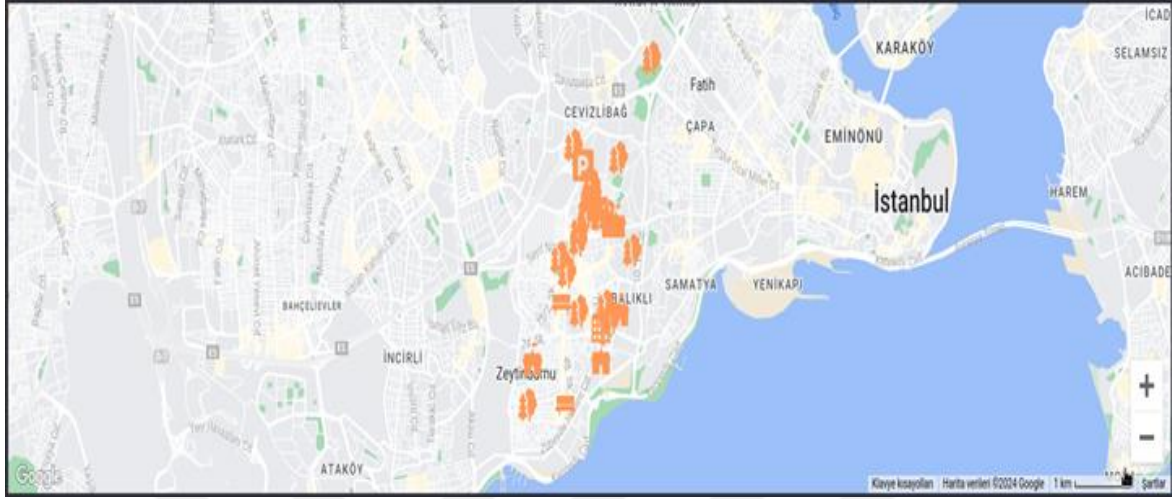


Şekil 5.1. İş Akış Diyagramı

Talep Noktaları

Çalışmada talep noktaları kablosuz teknolojilerin kapsama alanı içerisinde olması gereken noktalardır. Talep noktalarının belirlenmesinde afet sonrası vatandaşların yoğun olarak yaşadığı alanlar, okullar, hastaneler, afet sonrası toplanma yerleri, stadyumlar gibi yerler dikkate alınmıştır. Bu kapsamda Zeytinburnu Belediyesi ve AFAD tarafından 29 afet sonrası toplanma alanı talep noktası belirlenmiştir (İBB, 2020). Talep noktaları ile aday noktalar arasındaki mesafeler ArcGIS üzerinden kuş uçuşu mesafeler baz alınarak hesaplanmış olup ekte yer verilmiştir. Talep noktalarının yerleri Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Ayrıca talep noktalarının kapasiteleri hesaplanırken ise toplanma alanlarının yüz ölçümleri dikkate

alınarak her 2m²'ye 1 kişi düşecek var sayımı ile kapasiteler hesaplanmış ve aşağıdaki Tablo 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Talep Noktaları

Kaynak: İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2020). *Zeytinburnu olası deprem kayıp tahminleri kitapçığı*.

Talep Noktaları	Talep Noktasında Ortalama İnsan Sayısı
Zeytinburnu Stadyumu	6451
Okullar Bölgesi	12500
Yenidoğan Mh. Bölgesi	500
Zeytinburnu Kız Anadolu İmam Hatip Lisesi	5000
Haluk Ündeğer İlkokulu	2508
Haluk Ündeğer Anadolu Lisesi	1597
Seyyid Nizam Cami Bahçesi	1796
Toki Seyitnizam Şehit Semih Balaban İmam Hatip Ortaokulu	2040
Ayvansaray Ünv. Bahçesi	8930
Abay İmam Hatip Lisesi	4100
Tercüman Sitesi E5	4300
Merkezevleri Çarşısı	887
Saniye Sezgin İlkokulu	1558
Gelişim Sitesi Yanı Yeşil Alan	1000
Zeytinburnu Millet Bahçesi	26101
75. Yıl Parkı	10209
Dr. Ziya Gün Parkı	10209
Mehmet Tahan Parkı	1592
Şehitler Parkı	1157
Seyitnizam Parkı	1157

Merkezefendi Parkı	38316
Panaroma 1453 Parkı	38316
Topkapı Kültür Parkı	38316
Stad Parkı	2336
Zeytinburnu 15 Temmuz Meydanı	14160
Zeytin Park	1081
Özgürlük Parkı	3972
Öğretmenler Parkı	1859
Osman Zeki Bayraktar Parkı	1834

Tablo 5.1 Talep Noktalarının Kapasitesi

Aday Noktaları

Çalışmadaki aday noktaları potansiyel kablosuz teknolojilerin kurulacağı yerlerdir. Zeytinburnu ilçesinde 13 mahalle bulunmakta olup tüm mahalleler aday noktası olarak belirlenmiştir. Aday noktası olması beklenen mahallelerin ağırlıklandırması; VS 30 zemin risk değeri, maksimum yer ivmesi (PGA), maksimum yer hızı (PGV), yükselti, toprak yapısı, Kuzey Anadolu Fayına yakınlık ve gece nüfus yoğunluğu kriterlerine göre yapılmış olup daha güvenli ve depreme daha dayanıklı olan mahallelerin risk puanı daha yüksek olarak ele alınmıştır. Aday noktaları ağırlıklandırma sürecinde belirlenen kriterler aşağıda ifade edilmiş olup ekler kısmında da haritalar ve ağırlıklandırmalar verilmiştir (İBB, 2020).

1.VS 30 Zemin Risk Değeri: Aday noktaları belirlenirken ilk olarak, kurulması planlanan kablosuz teknolojilerin sağlam zeminler üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ile ortak hazırlanan “Zeytinburnu Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı”nda yer alan zemin VS 30 haritasına göre her mahalle için zemin sağlamlığını karşılaştırmak amacıyla yüksek puanlı olan mahalleler sağlam zemine sahip olduğu varsayılarak ağırlıklandırmalar yapılmıştır. VS30 değeri, bir bölgedeki zeminin sismik performansını tahmin etmek için kullanılır. Daha yüksek bir VS30 değeri, genellikle daha sert ve dolayısıyla depreme daha dirençli bir zemin anlamına gelirken, daha düşük bir VS30 değeri daha yumuşak ve sıvılaşmaya daha yatkın bir zemin anlamına gelebilir (İBB, 2020).

2.En Büyük Yer İvmesi (PGA) ve En Büyük Yer Hızı (PGV): Aday noktaları belirlenirken ilgili mahallelerin olası bir depremde En Büyük Yer İvmesi (PGA) ve En Büyük Yer Hızı

(PGV) değerleri karşılaştırılmıştır. PGA değeri, depremin etkisini ölçmek ve yapıların depreme dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılır. Daha yüksek bir PGA değeri, daha şiddetli bir depremin etkisini ve bu etkinin yapılar üzerindeki potansiyel zararını gösterir. PGV ise zeminin yer değiştirme hızının veya yer yüzeyinin ne kadar hızla hareket ettiğini gösterir. Bu değer, zemin hareketinin yaratılacağı potansiyel zararı ve yapıların bu tür hareketlere nasıl tepki vereceğini anlamak için kullanılır. Daha yüksek bir PGV değeri, daha şiddetli bir depremin etkisini ve bu etkinin yapılar üzerindeki potansiyel zararını gösterir. Bu kapsamda PGA ve PGV değerleri yüksek olanlar, daha düşük ağırlıklandırmalar ile değerlendirilmiştir (İBB, 2020).

3.Yükselti: Aday noktaları belirlenme sürecinde kablosuz teknolojilerin yerleştirilmesi konusunda önem arz eden diğer bir kısıt yükseltidir. Buna göre yükseltisi fazla olanlar daha yüksek değerler ile ağırlıklandırılmış olup yükseltinin fazla olması kapsama sürecinde verimliliği arttırmaktadır.

4.Toprak Yapısı: Aday noktaları belirlenirken diğer önemli bir kriter toprak yapısı olup mahallelerin toprak yapılarının sınıflama oranlarına göre litoloji haritasına bakılarak ağırlıklandırmalar yapılmıştır. Puanı yüksek olan mahallenin sınıflamasının daha az olup daha sağlam olduğu değerlendirilmiştir.

5.Kuzey Anadolu Fay Hattına Yakınlık: Aday noktaları belirleme sürecinde Kuzey Anadolu Fay Hattına yakınlık da önemli bir kriter olup fay hattına uzak olan mahalleler daha yüksek puanlar ile puanlanmıştır.

6.Gece Nüfus Yoğunluğu: Aday noktaları belirlenirken son olarak mahallelerin gece nüfus yoğunluğuna göre nüfus yoğunluğunun puanı yüksek olacak şekilde ağırlıklandırmalar yapılmıştır. Talep noktaları dışında aday noktalarına yerleştirilecek olan kablosuz teknolojilerin nüfus yoğunluğu da önem arz etmektedir.

Aday noktalarının risk puanları hesaplanırken yukarıda bahsedilen kriterler ve kriterlerin birbiri üzerindeki ağırlıkları da dikkate alınmış olup ayrıca uzmanların görüşleri ile beraber değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ile ortak hazırlanan “Zeytinburnu Olası Deprem Kayıp

Tahminleri Kitapçığı”nda yer alan ağırlıklandırmalar üzerinden Super Decisions yazılımı kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 5.2’de gösterilmektedir (İBB, 2020).

Mahalleler (Aday Noktaları)	Toplam Ağırlık
Beştelsiz Mahallesi	0,1210
Çırpıcı Mahallesi	0,0610
Gökalp Mahallesi	0,1097
Kazlıçeşme Mahallesi	0,0399
Maltepe Mahallesi	0,0953
Merkezefendi Mahallesi	0,1219
Nuripaşa Mahallesi	0,0691
Seyitnizam Mahallesi	0,0734
Sümer Mahallesi	0,0464
Telsiz Mahallesi	0,0827
Veliefendi Mahallesi	0,0461
Yenidoğan Mahallesi	0,0673
Yeşiltepe Mahallesi	0,0663

Tablo 5.2. Aday Noktalarının Ağırlıklandırılması

Bununla birlikte kablosuz teknolojilerin kapsama mesafeleri, kurulum maliyetleri ve kapasiteleri hesaplanırken ise literatürde yer alan karşılaştırmalar göz önünde bulundurulmuş ve aşağıda Tablo 5.3’de yer alan veriler modelde dikkate alınmıştır (Mekki vd, 2019).

Kablosuz Teknolojiler	Kapsama Mesafesi(m)	Kurulum Maliyetleri(\$)	Kapasite (Bağlanabilen İnsan veya Cihaz Sayısı)
Lora	1000	6600	10000
Sigfox	2500	22420	100000
NB-IoT	500	37601	40000

Tablo 5.3. Kablosuz Teknolojilerin Kapsama Mesafeleri, Maliyetleri ve Kapasiteleri

5.2. Modelin Kurulması

Bu çalışmada önerilen model, küme kapsama ile bütünleştirilmiş amaç programlama yaklaşımı ile geliştirilmiş olup modele ait matematiksel formüller aşağıda gösterilmiştir.

İndisler

i: Talep Noktaları (Zeytinburnu İlçesi Afet Sonrası Toplanma Alanları)

j: Aday Noktaları (Zeytinburnu İlçesi Mahalleleri)

r: Kablosuz Teknolojiler (Lora, Sigfox, NB-IoT)

Parametreler

s_r : Kurulması gereken kablosuz teknolojilerin kapsama mesafesi (m)

p : Kablosuz teknoloji kurulacak aday noktası sayısı

d_{ij} : Talep noktası ile aday nokta arasındaki kuş uçuşu mesafe (m)

q_r : Aday noktasında kurulması planlanan kablosuz teknolojinin kapasitesi

q_i : Talep noktasının kapasitesi

w_j : Aday noktalarının ağırlıklandırılmış derecesi

c_r : Kurulması gereken kablosuz teknolojilerin kurulum maliyetleri

M : Bütçe kısıtı

N : Ataması yapılacak aday noktalarının ve talep noktalarının çarpımı

d_1^+ : Birinci hedeften pozitif sapma miktarı

d_1^- : Birinci hedeften negatif sapma miktarı

d_2^+ : İkinci hedeften pozitif sapma miktarı

d_2^- : İkinci hedeften negatif sapma miktarı

Karar Değişkenleri

$x_{jr} = [1, r \text{ tipi kablosuz teknoloji } j' \text{ de konumlandıysa};$

0, değilse]

$y_{ij} = [1, \text{kablosuz teknolojinin } j' \text{ de konumlanıp } i' \text{ yi tamamen kapsaması};$

0, değilse]

Pozitif Değişkenler

$d_1^+, d_1^-, d_2^+, d_2^-$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Enk } z = d_1^+ + d_2^- \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^j \sum_{r=1}^r c_r x_{jr} - d_1^+ + d_1^- = M \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j y_{ij} w_j - d_2^+ + d_2^- = N \quad (3)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^j \sum_{r=1}^r x_{jr} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j y_{ij} \geq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^j \sum_{r=1}^r s_r x_{jr} \geq \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j d_{ij} y_{ij} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j q_i y_{ij} \leq \sum_{j=1}^j \sum_{r=1}^r q_r x_{jr} \quad (7)$$

$$\text{Maliyet} = \sum_{j=1}^j \sum_{r=1}^r c_r x_{jr} \quad (8)$$

Denklem (1)'de gösterilen amaç fonksiyonu, aday noktalara kurulması planlanan kablosuz teknolojilerin maliyet ve kapsama kriterlerinin hedef değişkenlerini minimize etmeye çalışmaktadır. Denklem (2), aday noktalara atanacak olan kablosuz teknolojilerin maliyetlerini belirli bir değerde sınırlandırarak maliyeti minimize etmeye çalışmaktadır. Denklem (3), aday noktalara atanacak kablosuz teknolojilerin aday noktalarının ağırlıklarına bakarak atanmasını sağlamaktadır. Denklem (4), her aday noktasında en fazla bir adet kablosuz teknolojinin bulunmasını ifade etmektedir. Denklem (5), aday noktalara atanan kablosuz teknolojinin talep noktalarını kapsamı beklenmektedir. Denklem (6), kablosuz teknolojilerin kapsama mesafesinin aday ve talep noktaları arasındaki mesafeden yüksek olması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (7), aday noktalara atanan kablosuz teknolojilerin kapasitelerinin talep noktalarından daha fazla olması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (8), atamalar sonucunda toplam maliyeti göstermektedir. Matematiksel model GAMS yazılım programı ile çözülmüş olup farklı senaryolar için hesaplamalar yapılmıştır.

5.3. Modelin Çözülmesi ve Senaryolar

Sıkışık Ağ Senaryosu

Bu senaryolarda aday noktalarının hepsinde atama yapılabileceği ve bu noktaların herhangi bir afet sonucunda hasar almadığı durumu varsayılmıştır. Ayrıca bu senaryoda aday noktalarının ağırlıkları da dikkate alınarak gerekli atamalar yapılmıştır. Farklı bütçe kısıtları ile değerlendirilen bu senaryolarda ulaşılan sonuçlara aşağıda yer verilmiştir.

Senaryo 1

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Beşelsiz Mahallesi		x
Gökalp Mahallesi		x

Merkezefendi Mahallesi		x
Telsiz Mahallesi	x	

Tablo 5.4. Senaryo 1

1.Senaryoda bütçe kısıtı 75.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.4’te görüldüğü üzere Beşelsiz, Gökalp ve Merkezefendi Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Telsiz Mahallesi kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 73680\$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca aşağıda yer alan Şekil 5.3’te bu senaryo gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Senaryo 1 Harita Görseli

Senaryo 2

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Beştelsiz Mahallesi		x
Gökalp Mahallesi		x
Merkezefendi Mahallesi		x
Seyitnizam Mahallesi	x	
Telsiz Mahallesi		x

Tablo 5.5. Senaryo 2

2.Senaryoda bütçe kısıtı 100.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.5’te görüldüğü üzere Beştelsiz, Gökalp, Merkezefendi ve Telsiz Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Seyitnizam Mahallesi kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 96280\$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca aşağıda yer alan Şekil 5.4’te bu senaryo gösterilmiştir. Diğer senaryolara harita görseli eklenmemiştir.



Şekil 5.4. Senaryo 2 Harita Görseli

Senaryo 3

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Beştelsiz Mahallesi		X
Gökalp Mahallesi		X
Maltepe Mahallesi		X
Merkezefendi Mahallesi		X
Seyitnizam Mahallesi	X	
Telsiz Mahallesi		X

Tablo 5.6. Senaryo 3

3.Senaryoda bütçe kısıtı 120.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.6’da görüldüğü üzere Beştelsiz, Gökalp, Maltepe Merkezefendi ve Telsiz Mahallelerinde kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Seyitnizam Mahallesine kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 118700\$ olarak hesaplanmıştır.

Kısmi Ağ Senaryosu

Bu senaryolarda aday noktalarının hepsine atama yapılamayacağı ve bazı aday noktalarının afet sonucunda hasar aldığı durumu varsayılmıştır. Risk puanlamaları yapılan aday noktalarından; Beştelsiz, Gökalp, Merkezefendi, Telsiz ve Yenidoğan Mahallelerine atama yapılacağı ve diğer mahallelerin afet sonrasında hasar aldığı varsayılmıştır. Ayrıca bu senaryoda aday noktalarının ağırlıkları da dikkate alınarak gerekli atamalar yapılmıştır. Farklı bütçe kısıtları ile değerlendirilen bu senaryolarda ulaşılan sonuçlara aşağıda yer verilmiştir.

Senaryo 4

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Beştelsiz Mahallesi		x
Gökalp Mahallesi		x
Merkezefendi Mahallesi		x
Telsiz Mahallesi	x	

Tablo 5.7. Senaryo 4

4.Senaryoda bütçe kısıtı 75.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.7’de görüldüğü üzere Beştelsiz, Gökalp ve Merkezefendi Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Telsiz Mahallesine kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 67260\$ olarak hesaplanmıştır.

Senaryo 5

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Beştelsiz Mahallesi		x
Gökalp Mahallesi		x
Merkezefendi Mahallesi		x
Telsiz Mahallesi		x
Yenidoğan Mahallesi	x	

Tablo 5.8. Senaryo 5

5.Senaryoda bütçe kısıtı 100.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.8’de görüldüğü üzere Beştelsiz, Gökalp, Merkezefendi ve Telsiz Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Yenidoğan Mahallesine kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 96280\$ olarak hesaplanmıştır.

Senaryo 6

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Beştelsiz Mahallesi		x
Gökalp Mahallesi		x
Merkezefendi Mahallesi		x
Telsiz Mahallesi		x
Yenidoğan Mahallesi		x

Tablo 5.9. Senaryo 6

6.Senaryoda bütçe kısıtı 120.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.9’da görüldüğü üzere hasar almayan tüm mahallelere kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 112100\$ olarak hesaplanmıştır.

İzole Ağ Senaryosu

Senaryo 7

İzole ağ senaryosunda mobil ağlarda meydana gelen omurga arızalarına benzer şekilde bir aday noktası hariç tüm aday noktalarının afet sonucunda hasar aldığı durumu varsayılmıştır. Bu kapsamda risk puanı en yüksek yani en güvenli mahalle Beştelsiz Mahallesi Sigfox kablosuz teknolojinin kurularak tüm aday noktalarının kapsandığı hesaplanmıştır. Toplam maliyet ise 67260\$ olarak hesaplanmıştır. Yukarıdaki senaryolarda ağırlıklandırılmış aday noktalarına göre matematiksel çözülmüş olup aşağıda aday noktaları ağırlıklandırılmadan da çözümler gerçekleştirilmiş olup sonuçlara yer verilmiştir.

Senaryo 8

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Çırpıcı Mahallesi		x
Seyitnizam Mahallesi	x	
Telsiz Mahallesi		x
Yeşiltepe Mahallesi		x

Tablo 5.10. Senaryo 8

8.Senaryoda bütçe kısıtı 75.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.10’da görüldüğü üzere Çırpıcı, Telsiz ve Yeşiltepe Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Seyitnizam Mahallesi kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 73860\$ olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda aday noktalarının risk ağırlıkları dikkate alınmamıştır.

Senaryo 9

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Merkezefendi Mahallesi	x	
Seyitnizam Mahallesi		x
Telsiz Mahallesi		x
Veliefendi Mahallesi		x
Yeşiltepe Mahallesi		x

Tablo 5.11. Senaryo 9

9.Senaryoda bütçe kısıtı 100.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.11’de görüldüğü üzere Seyitnizam, Telsiz, Veliefendi ve Yeşiltepe Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Merkezefendi Mahallesi kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 96280\$ olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda aday noktalarının risk ağırlıkları dikkate alınmamıştır.

Senaryo 10

Aday Noktası	LoRa	Sigfox
Çırpıcı Mahallesi		x
Merkezefendi Mahallesi	x	
Seyitnizam Mahallesi		x
Telsiz Mahallesi		x
Veliefendi Mahallesi		x
Yeşiltepe Mahallesi		x

Tablo 5.12. Senaryo 10

10.Senaryoda bütçe kısıtı 120.000\$ olarak belirlenmiş olup Tablo 5.12’de görüldüğü üzere Çırpıcı, Seyitnizam, Telsiz, Veliefendi ve Yeşiltepe Mahallelerine kurulacak Sigfox kablosuz teknolojisi ve Merkezefendi Mahallesine kurulacak LoRa kablosuz teknolojisi ile tüm talep noktaları kapsanmış olup iletişimin sürekliliği sağlanmıştır. Toplam maliyet ise 118900\$ olarak hesaplanmıştır. Bu senaryoda aday noktalarının risk ağırlıkları dikkate alınmamıştır.

Senaryoların sonuçları aşağıda yer alan Tablo 5.13’de özetlenmiştir.



<i>Senaryo No</i>	<i>Beştelsiz</i>	<i>Çırpıcı</i>	<i>Gökalp</i>	<i>Maltepe</i>	<i>Merkezefendi</i>	<i>Seyitnizam</i>	<i>Telsiz</i>	<i>Veliefendi</i>	<i>Yenidoğan</i>	<i>Yeşiltepe</i>	<i>Maliyet</i>
<i>Senaryo 1</i>	Sigfox		Sigfox		Sigfox		Lora				73680\$
<i>Senaryo 2</i>	Sigfox		Sigfox		Sigfox	Lora	Sigfox				96280\$
<i>Senaryo 3</i>	Sigfox		Sigfox	Sigfox	Sigfox	Lora	Sigfox				118700\$
<i>Senaryo 4</i>	Sigfox		Sigfox		Sigfox		Lora				67260\$
<i>Senaryo 5</i>	Sigfox		Sigfox		Sigfox		Sigfox		Lora		96280\$
<i>Senaryo 6</i>	Sigfox		Sigfox		Sigfox		Sigfox		Sigfox		112100\$
<i>Senaryo 7</i>	Sigfox										67260\$
<i>Senaryo 8</i>		Sigfox				Lora	Sigfox			Sigfox	73860\$
<i>Senaryo 9</i>					Lora	Sigfox	Sigfox	Sigfox		Sigfox	96280\$
<i>Senaryo 10</i>		Sigfox			Lora	Sigfox	Sigfox	Sigfox		Sigfox	118900\$

Tablo 5.13 Senaryoların Karşılaştırılması

Aday noktalarının risk puanlarına göre ağırlıklandırıldığı durumdaki afet senaryoları değerlendirildiğinde afet durumlarında daha güvenli ve kapsama alanı açısından daha uygun olan Beştelsiz, Gökalp ve Merkezefendi Mahallelerin atamaya uygun olduğu görülmüştür. Bahse konu mahallelere, Sigfox kablosuz teknolojisi ve Lora teknolojisi ile beraber iletişimi sürekliliği için mobil ağlardan bağımsız bir kablosuz teknoloji ağının kurulabileceği değerlendirilmektedir. Sigfox kablosuz teknolojisi Lora ve NB-IoT kablosuz teknolojilerine göre daha uzun menzile sahip olması ve kalabalık alanlarda binalar ile diğer engellerin içinden sinyal alıp göndermeye izin veren yapısı sayesinde afet durumlarında kullanılmasının iletişimin sürekliliği açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir.





6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde ve diğer ülkelerde afetler sırasında ve sonrasında yaşanan iletişim sorunları birçok can ve mal kaybına yol açmaktadır. Doğal afetler ve deprem sonrasında gerçekleştirilecek faaliyetlerin planlanmasında, bilim ve teknolojiye dayalı yöntem ve çalışmalardan mümkün olduğunca yararlanmak gerekmektedir. Bu bağlamda afet durumlarının etkili bileşenlerden biri olan kablosuz teknolojilerin kullanımı iletişim ve koordinasyon açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel iletişim altyapısının hasar aldığı veya kullanılamaz hale geldiği durumlarda hızlı ve etkili iletişimin sağlanması için geniş alan ağına sahip olan LPWAN kablosuz teknolojilerinin iletişimin sürekliliği açısından büyük fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Doğal afet senaryolarında ve deprem sonrasında kablosuz teknolojilerin optimum kaynaklarla etkin kullanımı için önerdiğimiz karar destek sistemi modeli olan çalışmamız LPWAN teknolojileri kullanılarak kurgulanmış olup literatürde ilk defa kullanılmaktadır. Bu kapsamda model bazlı bir sistem önerisi ortaya konulmuş ve üretilen farklı senaryolar GAMS paket programı ile çözülmüştür. Bu çerçevede, bahse konu özgün çalışmamız afet durumlarında ve sonrasında iletişimin sürekliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Deprem ya da doğal afetler sırasında geleneksel kablolu altyapı sistemleri ve baz istasyonları çeşitli sebeplerden dolayı kullanılamaz hale gelmektedir. Şiddetli depremler, baz istasyonları ve telekomünikasyon altyapılarında yapısal tahribata yol açarak fiziksel hasar oluşturmaktadır. Elektrik kesintileri, geniş çaplı enerji kayıpları ve yedek güç kaynaklarının yetersizliği nedeniyle baz istasyonlarının çalışmasını durdurmaktadır. Deprem sonrası acil durum aramaları ve veri trafiği, ağların aşırı yüklenmesine ve tıkanmasına neden olmaktadır. Fiber optik kabloların kesilmesi ve çevresel etkiler, iletişim ağlarında arızalara yol açmaktadır. Ulaşım zorlukları ve tehlikeli bölgeler, teknik ekiplerin müdahale kabiliyetini sınırlamaktadır. Ayrıca, acil durum haberleşme sistemleri ve mevcut kablosuz ağlar arasında frekans karışıklıkları yaşanmaktadır. Tüm bu faktörler, deprem sırasında iletişim sistemlerinin etkinliğini ciddi şekilde azaltmaktadır. Bu durumlarda uygulanacak en iyi çözümlerden biri, mobil şebekeden bağımsız bir haberleşme ağının kurulmasıdır. Bu ağ, acil durumlarda kesintisiz iletişim sağlayabilecek taşınabilir uydu telefonları, LPWAN ve Wi-Fi gibi mesh ağları gibi alternatif iletişim yöntemlerini içermektedir. Aynı zamanda, bu bağımsız ağların enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisiyle çalışan yedek güç

kaynakları kullanılmaktadır. Böylece, deprem gibi doğal afetler sırasında ve sonrasında iletişim sürekliliği sağlanabilmektedir.

Deprem ya da doğal afet durumlarında kablolu iletişim yöntemlerine kıyasla Wi-Fi, WiMAX, ZigBee gibi bazı kablosuz teknolojiler gecikme, kapsama alanının azalması ve veri paketlerinin kaybı nedeniyle acil durum iletişim sistemlerinin ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, LPWAN teknolojileri, düşük maliyetli uygulamaları geniş alanlarda destekleyebilme kapasitesiyle, kablosuz iletişim ağları için umut verici bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT gibi yaygın teknolojiler hızla gelişmiş ve çeşitli ülkelerde birçok LPWAN ağı kurulmuştur. Bu ağlar, tipik olarak fazla mesafeleri kapsayabilen ve birkaç kBit/s'lik düşük veri hızlarında çalışan cihazlar kullanarak geniş alanlarda düşük maliyetli uygulamaları desteklemektedir. Yakın gelecekte bahse konu LPWAN teknolojilerinin, doğal afetlerde veya deprem sonrası haberleşme sürecinin devamlılığı kapsamında mobil şebekeye ek olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Doğal afetler ve deprem sırasında iletişim, can ve mal kaybını en aza indirmek ve kurtarma operasyonlarının etkinliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Çalışmamızda kurduğumuz modelin çözümünde kullandığımız LPWAN kablosuz teknolojilerinden LoRa, Sigfox ve NB-IoT teknolojileri, düşük güç tüketimi, geniş kapsama alanı ve yüksek güvenilirlik özellikleri ile bu tür acil durumlarda önemli rol oynayabilir. Sigfox, geniş bir kapsama alanı sunup düşük bant genişliği ile veri iletebilmektedir. Bu, özellikle geniş coğrafi alanlarda düşük maliyetli cihazlarla veri toplanmasını sağlayabilmektedir. Bir deprem veya afet sonrasında, Sigfox tabanlı sensörler hasarlı bölgelerden veri toplayabilir ve bu veriler merkezi bir sisteme iletilerek acil durum ekiplerinin hızlı ve etkili müdahale etmesine olanak tanıyabilir. LoRa ise yerel ağ kurulumları için uygun olup düşük maliyetli, esnek bir iletişim çözümü sunabilmektedir. LoRa tabanlı sensörler, bir afet sonrası yerel bölgelerde veri toplayabilir. Bu veriler acil durum ekiplerine iletilerek bölgesel müdahaleleri destekleyebilir. NB-IoT teknolojisi de yüksek kaliteli hizmetler sunmak için lisanslı spektrum kullanarak LTE altyapısını temel almaktadır. Bu, özellikle düşük gecikme süresi ve yüksek güvenilirlik gerektiren uygulamalar için idealdir. Ancak, yüksek maliyet ve sınırlı kapsama alanı, kırsal veya altyapı eksikliği olan bölgelerde kullanımını sınırlamaktadır.

Doğal afetlerde ve deprem sonrasında kullanılacak iletişim teknolojilerinin seçimi, kapsama alanı, maliyet, enerji verimliliği ve hizmet kalitesi gibi faktörlere bağlıdır. Sigfox, geniş

kapsama alanı ve düşük enerji tüketimi ile kırsal ve geniş alanlarda veri toplanması için ideal bir çözüm sunar. LoRa ise düşük maliyeti ve esnek ağ kurulumları ile yerel bölgelerde ekonomik ve verimli bir çözüm sağlar. NB-IoT, yüksek hizmet kalitesi ve düşük gecikme süresi ile kritik uygulamalar için uygundur, ancak yüksek maliyeti ve sınırlı kapsama alanı nedeniyle daha dar bir kullanım alanına sahiptir. Özetle, doğal afetlerde Sigfox teknolojisi geniş kapsama alanı açısından faydalı iken, LoRa teknolojisi maliyet açısından daha uygun bir seçenektir. Bu nedenle, afet yönetim sistemlerinin tasarımında her iki teknolojinin avantajlarından yararlanarak hibrit bir yaklaşım benimsenebilir.

Doğal afet durumlarında kullanılmak üzere, Sigfox, LoRa ve NB-IoT gibi teknolojileri destekleyen özel iletişim ağlarının kurulması ve mevcut ağların güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu teknolojilerin altyapılarının entegrasyonu, afet sırasında kesintisiz veri akışını sağlayacak şekilde planlanmalıdır. Toplanan verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve hızlı bir şekilde analiz edilmesi için veri merkezleri oluşturulmalıdır. Veri merkezlerinin, afet durumunda da işlevselliğini sürdüreceği şekilde yedekli ve dayanıklı olması sağlanmalıdır. Diğer taraftan Sigfox, LoRa, NB-IoT gibi teknolojilerin etkin kullanımı için özel frekans bantları tahsis edilmelidir. Bu bantların, diğer iletişim hizmetlerinden bağımsız olarak çalışabilmesi, afet durumlarında kesintisiz iletişimin sağlanması açısından önemlidir. Ayrıca Sigfox, LoRa ve NB-IoT gibi teknolojilerin doğal afetlerde kullanılmasını düzenleyen yasal çerçeveler oluşturulmalıdır. Bu teknolojilerin kullanımı ile ilgili standartlar ve teknik gereksinimler belirlenmelidir. Sonuç olarak Sigfox, LoRa, NB-IoT gibi teknolojilerin, doğal afetler sırasında ve sonrasında kritik bilgiler sağlayarak afet yönetimi süreçlerini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojilerin etkin kullanımı için gerekli altyapı yatırımları yapılmalı, uygun frekans tahsisleri sağlanmalı ve gerekli yasal düzenlemeler hızla hayata geçirilmelidir. Bu çalışmaların başarısı, BTK ve AFAD'ın etkin koordinasyonu ve iş birliği ile mümkün olacaktır.



KAYNAKLAR

- Adeel, A., Gogate, M., Farooq, S., Ieracitano, C., Dashtipour, K., Larijani, H., & Hussain, A. (2019). A survey on the role of wireless sensor networks and IoT in disaster management. *Geological disaster monitoring based on sensor networks*, 57-66.
- Akbulut, A.B., Çetinyokuş, T. & Çalışkan, E. (2024). Mathematical Model Driven Decision Support System Proposal for Selecting Wireless Technologies After a Natural Disaster, 3rd International Informatics and Computer Science Conference (ICI-CS2024) March 14-15, 2024 Ankara, Turkey ISBN: 978-975-507-342-2 Gazi University Publications No:29.
- Arabani, A. B., & Farahani, R. Z. (2012). Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 408-420.
- Arroyo Barrantes, S., Rodriguez, M., Pérez, R., & World Health Organization. (2010). Information management and communication in emergencies and disasters: manual for disaster response teams.
- Aydemir, H. (2023). “Afet ve Acil Durum Yönetiminde İtfaiye Teşkilatlarının Çalışmaları ve Uygulamaları: Elazığ İli Örneği”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Aytaç, A. (2023). Deprem ve Afet Anlarına Yönelik Bir Haberleşme Sistemi Önerisi: “Milli Telsiz Haberleşme Sistemi”. *Avrasya Dosyası Dergisi Cilt 14 (Sayı 1)*: 137-157.
- Bakırcı, E. (2019). “ZIGBEE- IEEE 802.15.4 Temelli Kablosuz Sensör Ağı Kontrol Sistemi ve Sistem Performansı İçin Bir Mikroşerit Anten Tasarımı, Simülasyonu ve Gerçekleştirilmesi.” Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Ballou, R.H., (1968), Dynamic warehouse location analysis, *Journal of Marketing Research*, 5, 3, 271–276.
- Bastı, M. (2012). P-medyan tesis yeri seçim problemi ve çözüm yaklaşımları. *Online Academic Journal Of Information Technology*, 3(7), 47–75.
- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (2024) *Haberleşme Sektöründe Doğal Afetlere Hazırlık ve Müdahale Düzenlemeleri: Ülke Örnekleri Çalışmaları Araştırma Raporu*. BTK, Ankara, BTK, 8-14.
- Carbone, R. (1974). Public facility location under stochastic demand, *Infor*, 12 (3), 261-270.
- Centelles RP, Meseguer R, Freitag F, Navarro L, Ochoa SF, Santos RM. LoRaMoto (2021). A communication system to provide safety awareness among civilians after an earthquake. *Future Generation Computer Systems*, 115, 150-170.

Chardaire, P. and Lutton, J.L., (1993). Using simulated annealing to solve concentrator location problems in telecommunication networks. *Applied simulated annealing*, 396, 175-199.

Chaudhari, B. S., Zennaro, M., & Borkar, S. (2020). LPWAN technologies: Emerging application characteristics, requirements, and design considerations. *Future Internet*, 12(3), 46.

Cheimaras, V., Peladarinos, N., Monios, N., Daousis, S., Papagiakoumos, S., Papageorgas, P., & Piromalis, D. (2023). Emergency Communication System Based on Wireless LPWAN and SD-WAN Technologies. *A Hybrid Approach. Signals*, 4(2), 315-336.

Current, J., Daskin, M. ve Schilling, D. (2002). Discrete Network Location Models. Facility Location Theory: Applications and Methods, Chapter 3, *Springer-Verlag, Berlin*, 75- 89.

Deepak, G. C., Ladas, A., Sambo, Y. A., Pervaiz, H., Politis, C., & Imran, M. A. (2019). An overview of post-disaster emergency communication systems in the future networks. *IEEE Wireless Communications*, 26(6), 132-139.

Dalğın, Y. M. S., & Doğru, A. Ö. Mobil Sensörlerin Afet Anında Kullanım Alanları.

Daskin, M.S., 1983. A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17 (1): 48-70.

Daskin, M.S., 1995, Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications, *John Wiley Sons Inc.*, p.92-303.

Deepan, B., Himanshu, P., & Hardik, M. (2016). Emerging Wireless Technologies. *A Comparative Analysis. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 3(4), 300-304.

Densham, P.J. and Rushton, G., (1992). A more efficient heuristic for solving large p-median problems. *Papers in Regional Science*, 171, 307-29.

Duman, E., Altıntaş, M., Gül, İ., Dolu, M. (2022). LPWAN Teknolojileri ve Uygulama Alanlarının Karşılaştırmalı İncelemesi. *Veri Bilimi*, 5(1), 34-44.

Erdelj, M., Król, M., & Natalizio, E. (2017). Wireless sensor networks and multi-UAV systems for natural disaster management. *Computer Networks*, 124, 72-86.

Hakimi, S.L., (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations research* 13, 462–475.

Hashtarkhani, S., A. Matthews, S., Yin, P., Mohammadi, A., Mohammad Ebrahimi, S., Tara, M., & Kiani, B. (2023). Where to place emergency ambulance vehicles: use of a capacitated maximum covering location model with real call data. *Geospatial Health*, 18(2).

İnternet: Emergency Telecommunications.
URL:https://www.itu.int/en/action/emergency/Pages/default.aspx. Son Erişim Tarihi: 14.05.2024.

Ignizio, J. P. ve Romero, C. (2003). Goal programming. *Encyclopedia of Information Systems*, 2, 489-500.

Israaq, F. (2023). A review of Bluetooth Technology (*Thesis*). Independent University, Bangladesh.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB). (2020). Zeytinburnu olası deprem kayıp tahminleri kitapçığı.

İşçi, C (2020). Deprem Nedir ve Nasıl Korunuruz. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 3(9), 959.

Jamshidi, M. (2009). Median location problem. *Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies*, 177-191.

Kara, A. (2014). Ağ Ömrünü En Büyükleme Amaçlı Küme Kapsama Problemleri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kaymak, M. (2021). Afet ve Acil Durum Yönetimi: Tekirdağ İli Bir Alışveriş Merkezi Örneği. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı.

Kısakol, B. E. (2015). Acil Sağlık Hizmetleri İstasyonlarının Yerleşim Probleminin Küme Kapsama Ve Medyan Modeli Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi: Manisa İl Merkezi İçin Bir Uygulama. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Koç, A. A. (2023). Haberleşmenin gizliliğini ihlal suçları: TCK Madde 132. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Hukuku Anabilim Dalı, Kamu Hukuku Bilim Dalı]. İstanbul.

Koç, M., & Sarıkaya, H. A. (2024). Maximal Covering Method In Determining Distribution Centers In Disaster Logistics. *Endüstri Mühendisliği*, 35(1), 22-60.

Küçük K, Bayılmış C, Sönmez AF, Kaçar S. (2019). IoT Teknolojilerini Kullanan Afet Sonrası Yönetim Sistemi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*.;7(2): 298-305.

Kütükcü, A. Z. (2016). Acil Durum Haberleşmesinde Kullanılan El Telsizinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Seçilmesi. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

L. Tarjan, B. Tejić, D. Dragičević, G. Ostojić and N. Đukić, "An alternative communication possibility during a natural disaster by using lowpower long-range RF modules," *2018 17th International Symposium*, pp. 1-6.

Lee, S. M. (1973). Goal programming for decision analysis of multiple objectives. *Sloam Management Review*, 14(2), 19-37.

Levin, Y., & Ben-Israel, A. (2001). A heuristic method for multifacility location problem. *Rutgers Üniversitesi Rutcor Araştırma Raporu*, 76-87.

Kamruzzaman, M. D., Sarkar, N. I., Gutierrez, J., & Ray, S. K. (2017). A study of IoT-based post-disaster management. In *2017 international conference on information networking (ICOIN)* (pp. 406-410). IEEE.

Matracia, M., Saeed, N., Kishk, M. A., & Alouini, M. S. (2022). Post-disaster communications: Enabling technologies, architectures, and open challenges. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 1177-1205.

Mccann, P., Sheppard, S. (2003). The Rise, Fall and Rise Again of Industrial Location Theory, *Regional Studies*, 37, 6-7, 649-663.

Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A Comparative Study Of Lpwan Technologies for Large-Scale IoT Deployment. *ICT express*, 5(1), 1-7.

Ohwo, O. B., & Olujimi, A. D. (2020). A Comparative Review of Emerging Wireless Technology. *International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology*, 7, 163-175.

Özcan, U. ve Toklu, B. (2009). Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. *Computers ve Operations Research*, 36, 1955-1965.

Özdenizci, B., Ok, K., Aydın, M. N. & Coşkun, V. (2016). Yakın Alan İletişimi Teknolojisi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 4 (1).

Öztürk, G. (2019). *Afet Yönetimi Politikalarında Sivil Toplum Kuruluşlarının Roller ve İşlevleri: Marmara Bölgesi Örneğinde*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale On Sekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Pervez, F., Qadir, J., Khalil, M., Yaqoob, T., Ashraf, U., & Younis, S. (2018). Wireless technologies for emergency response: A comprehensive review and some guidelines. *Ieee Access*, 6, 71814-71838.

Rawat, P., Haddad, M., & Altman, E. (2015). Towards efficient disaster management: 5G and Device to Device communication. In *2015 2nd International conference on information and communication technologies for disaster management (ICT-DM)* (pp. 79-87). IEEE.

Reese, J. (2005). Supplement to Methods for Solving the p-Median Problem: An Annotated Bibliography. *Notes*, 14-17.

ReVelle, C. S., & Swain, R. W. (1970). Central facilities location. *Geographical analysis*, 2(1), 30-42.

ReVelle, C. S., & Eiselt, H. A. (2005). Location analysis: A synthesis and survey. *European journal of operational research*, 165(1), 1-19.

Rolland, E., Schilling, D. a., & Current, J. R. (1997). An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem. *European Journal of Operational Research*, 96(2), 329–342.

Sağır Yılmaz, F. N., (2023). *Türkiye’de Doğal Afet Yönetimi Uygulamalarında Merkezi ve Yerel Yönetimlerin Rolü: 2020 Elazığ ve İzmir Depremi İncelemesi*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı.

Seba, A., Nouali-Taboudjemat, N., Badache, N., & Seba, H. (2019). A review on security challenges of wireless communications in disaster emergency response and crisis management situations. *Journal of Network and Computer Applications*, 126, 150-161.

Sinha, B. ve Sen, N. (2011). Goal programming approach to tea industry of Barak valley of Assam. *Applied Mathematical Sciences*, 5(29), 1409-1419.

Sisinni, E., Carvalho, D. F., & Ferrari, P. (2020). Emergency communication in IoT scenarios by means of a transparent LoRaWAN enhancement. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 10684-10694.

Sule, D. R. (2001). *Logistics of facility location and allocation*. CRC Press.

Şentürk, A., Karapınar Ş.Z., Şentürk, M., Çifci, M., Başer, E. (2016). Yeni Nesil Kablosuz Ağ Teknolojisi: Wimax Standardının İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3); 438-447.

Tavakkoli-Moghaddain, R., & Shayan, E. (1998). Facilities layout design by genetic algorithms. *Computers & industrial engineering*, 35(3-4), 527-530.

Topic: How LoRA based Communication in Disaster Works? Webinar Brief Report, 2023.

Uzunal, S. (2023). *Elektronik Haberleşme Sektöründe Kişisel Verilerin Korunması*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hukuk Anabilim Dalı, Özel Hukuk Bilim Dalı.

Wang, Q., Li, W., Yu, Z., Abbasi, Q., Imran, M., Ansari, S., ... & Zhu, T. (2023). An overview of emergency communication networks. *Remote Sensing*, 15(6), 1595.

Yıldırım, A. (2023). Afetlerde Dijital İletişim ve Acil Çağrı Uygulamalarının Kullanılabilirliği Üzerine Bir İnceleme: AFAD Acil Çağrı. *Trt Akademi*, 8(18), 552-573.

Yılmaz, R. (2019). *5G Mobil Teknolojisinin Getirdiği Yenilikler ve Uygulamalar*. İstanbul Bilgi Üniversitesi Lisansüstü Programlar Enstitüsü Bilişim ve Teknoloji Hukuku Yüksek Lisans Programı.

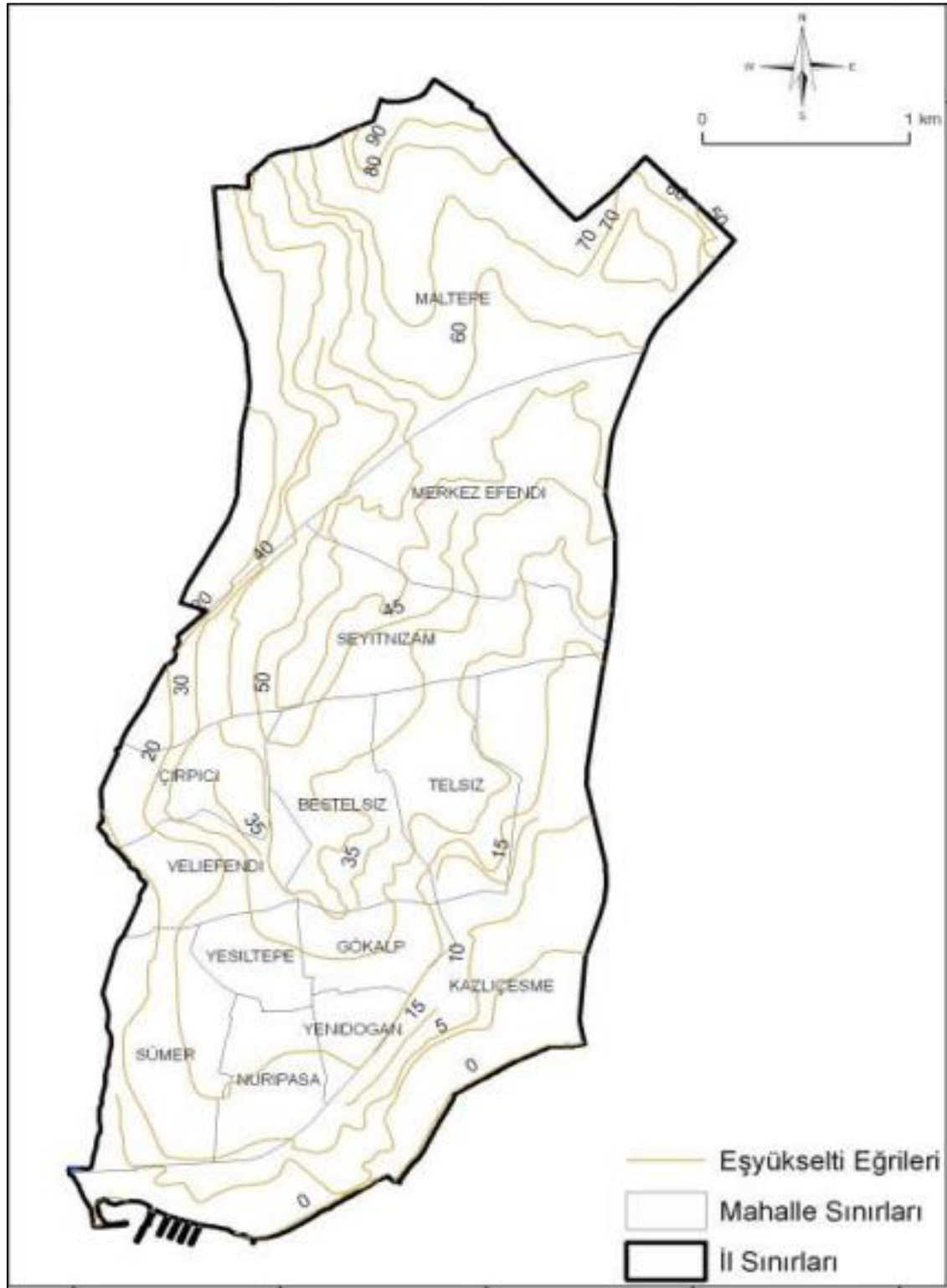
Zheng, C., Ge, Y., & Guo, A. (2023). Ultra-Wideband Technology: Characteristics, Applications and Challenges. *arXiv preprint arXiv:2307.13066*.



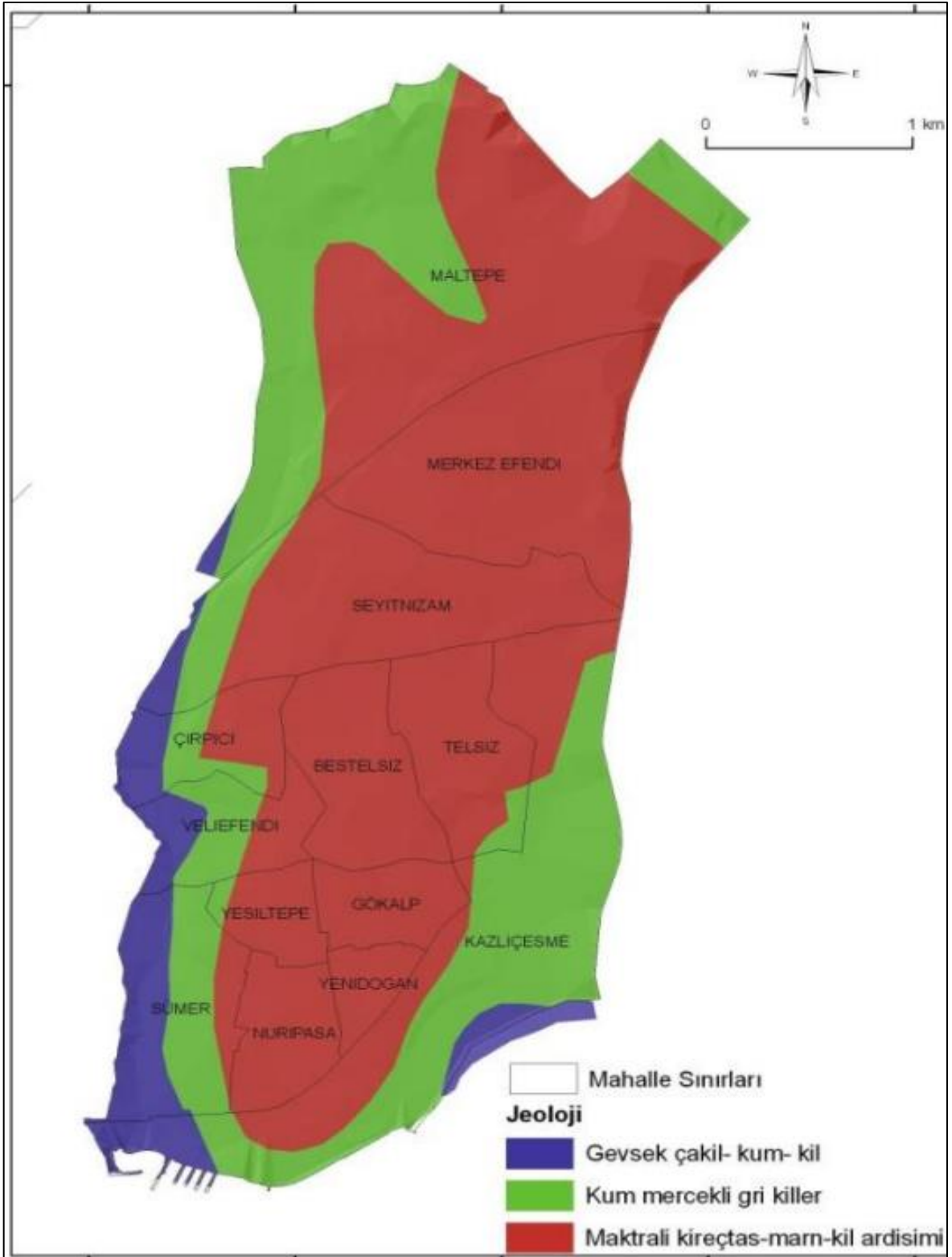


EKLER

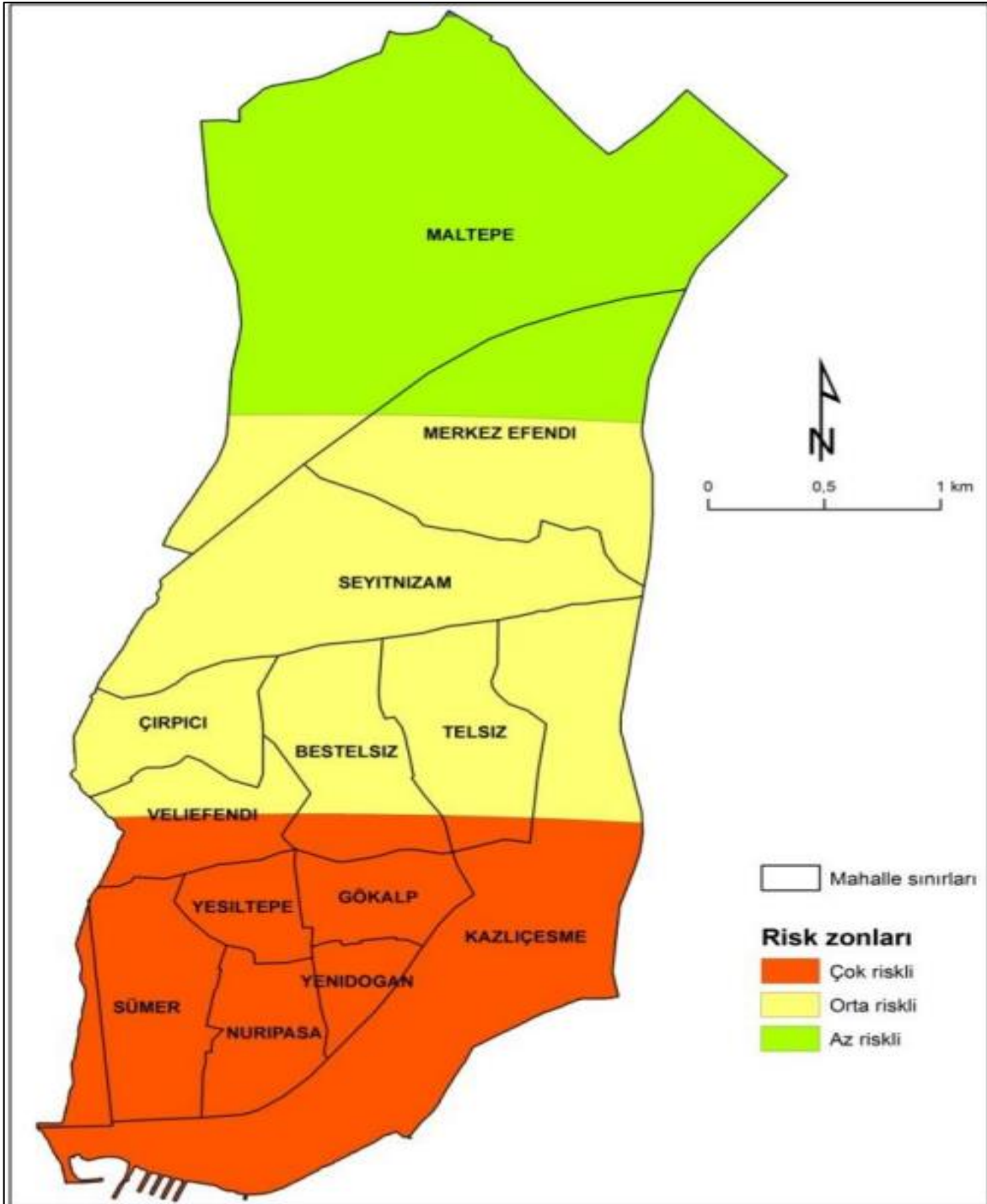
Yükselti



Toprak Yapısı Litoloji Haritası



Kuzey Anadolu Fay Hattına Yakınlık



EK-2

Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Kriterler	VS 30 Zemin Risk Değeri	En Büyük Yer İvmesi (PGA)	En Büyük Yer Hızı (PGV)	Yükselti	Toprak Yapısı	Kuzey Anadolu Fay Hattına Yakınlık	Gece Nüfus Yoğunluğu
Risk Ağırlığı	0.4858	0.0857	0.0857	0.04572	0.0857	0.16566	0.04572

Aday Noktalarının Kriterlere Göre Ağırlıklandırılması

Mahalleler (Aday Noktaları)	VS 30 Zemin Risk Değeri	En Büyük Yer İvmesi (PGA)	En Büyük Yer Hızı (PGV)	Yükselti	Toprak Yapısı	Kuzey Anadolu Fay Hattına Yakınlık	Gece Nüfus Yoğunluğu
Beştelsiz Mahallesi	0.16615	0.08336	0.0585	0.05381	0.09064	0.08696	0.07525
Çırpıcı Mahallesi	0.05036	0.04475	0.06294	0.05381	0.04532	0.08696	0.14429
Gökalp Mahallesi	0.16615	0.04168	0.06294	0.02893	0.09356	0.04348	0.07525
Kazlıçeşme Mahallesi	0.04154	0.04168	0.03223	0.02893	0.04532	0.04348	0.0202
Maltepe Mahallesi	0.04154	0.16673	0.12588	0.27464	0.09064	0.17391	0.0202
Merkezefendi Mahallesi	0.08308	0.16673	0.24094	0.1807	0.09064	0.17391	0.03762
Nuripaşa Mahallesi	0.08308	0.04168	0.06294	0.02893	0.09064	0.04348	0.07525

Seyitnizam Mahallesi	0.04154	0.16673	0.06294	0.1807	0.08706	0.08696	0.07525
Sümer Mahallesi	0.04154	0.04168	0.03891	0.02893	0.0489	0.04348	0.14429
Telsiz Mahallesi	0.08308	0.07993	0.06294	0.02893	0.09064	0.08696	0.14429
Veliefendi Mahallesi	0.04154	0.04168	0.06294	0.05381	0.04532	0.04348	0.07525
Yenidoğan Mahallesi	0.08308	0.04168	0.06294	0.02893	0.09064	0.04348	0.03762
Yeşiltepe Mahallesi	0.07733	0.04168	0.06294	0.02893	0.09064	0.04348	0.07525

Aday Noktalarının Kriterlere Göre Toplam Ağırlıkları

Mahalleler (Aday Noktaları)	VS 30 Zemin Risk Değeri	En Büyük Yer İvmesi (PGA)	En Büyük Yer Hızı (PGV)	Yükselti	Toprak Yapısı	Kuzey Anadolu Fay Hattına Yakınlık	Gece Nüfus Yoğunluğu	Toplam Ağırlık
Beştelsiz Mahallesi	0,08072	0,00714	0,00501	0,00246	0,00777	0,01441	0,00344	0,12095
Çırpıcı Mahallesi	0,02446	0,00384	0,00539	0,00246	0,00388	0,01441	0,00660	0,06104
Gökalp Mahallesi	0,08072	0,00357	0,00539	0,00132	0,00802	0,00720	0,00344	0,10967
	0,02018	0,00357	0,00276	0,00132	0,00388	0,00720	0,00092	0,03985

Kazlıçeşm e Mahallesi								
Maltepe Mahallesi	0,02018	0,01429	0,01079	0,01256	0,00777	0,02881	0,00092	0,09531
Merkezefe ndi Mahallesi	0,04036	0,01429	0,02065	0,00826	0,00777	0,02881	0,00172	0,12186
Nuripaşa Mahallesi	0,04036	0,00357	0,00539	0,00132	0,00777	0,00720	0,00344	0,06906
Seyitnizam Mahallesi	0,02018	0,01429	0,00539	0,00826	0,00746	0,01441	0,00344	0,07343
Sümer Mahallesi	0,02018	0,00357	0,00333	0,00132	0,00419	0,00720	0,00660	0,04640
Telsiz Mahallesi	0,04036	0,00685	0,00539	0,00132	0,00777	0,01441	0,00660	0,08270
Veliefendi Mahallesi	0,02018	0,00357	0,00539	0,00246	0,00388	0,00720	0,00344	0,04613
Yenidoğan Mahallesi	0,04036	0,00357	0,00539	0,00132	0,00777	0,00720	0,00172	0,06734
Yeşiltepe Mahallesi	0,03757	0,00357	0,00539	0,00132	0,00777	0,00720	0,00344	0,06627

EK-3

Aday Noktaları ve Talep Noktaları arası kuş uçuşu uzaklık

Mahalleler (Aday Noktaları) / Toplanma Alanları (Talep Noktaları)	Beşelsiz Mahallesi	Çırpıcı Mahallesi	Gökalp Mahallesi	Kazlıçeşme Mahallesi	Maltepe Mahallesi	Merkezefendi Mahallesi	Nuripaşa Mahallesi	Seyitnizam Mahallesi	Sümer Mahallesi	Telsiz Mahallesi	Veliefendi Mahallesi	Yenidoğan Mahallesi	Yeşiltepe Mahallesi
Zeytinburnu Stadyumu	783	1390	361	1100	2940	1880	1100	1250	1580	857	1070	601	1000
Okullar Bölgesi	1120	923	936	1150	3830	2560	650	1750	634	1670	572	810	450
Yenidoğan Mh. Bölgesi	1450	1680	654	214	4290	2790	497	2060	782	1780	1240	437	818
Zeytinburnu Kız Anadolu İmam Hatip Lisesi	941	1610	1430	2170	2380	803	2040	622	2520	380	1550	1910	1810

Haluk Ündeğer İlkokulu	910	1360	1650	2440	2010	570	2180	286	2620	552	1450	2100	1810
Haluk Ündeğer Anadolu Lisesi	1030	1480	1740	2530	1950	447	2260	407	2710	617	1590	2190	1950
Seyyid Nizam Cami Bahçesi	944	1560	1500	2280	2240	678	2090	511	2560	388	1540	1950	1830
Toki Şeyitnizam Şehit Semih Balaban İmam Hatip Ortaokulu	867	1480	1460	2250	2245	694	2040	422	2520	340	1460	1910	1770
Ayvansaray Üniv. Bahçesi	1080	1780	759	1330	3390	1820	1460	1350	1950	922	1450	1150	1420
Abay İmam Hatip Lisesi	1140	1690	397	775	3780	2250	986	1640	1450	1260	1270	634	1080

Tercüman Sitesi E5	1560	1840	2340	3150	1290	460	2800	922	3190	1250	2040	2760	2470
Merkezevleri Çarşısı	1280	1550	2700	2870	1580	504	2530	645	2890	1010	1760	2490	2170
Saniye Sezgin İlkokulu	1070	1720	1550	2310	2290	706	2160	690	2610	503	1670	2010	1940
Gelişim Sitesi Yanı Yeşil Alan	881	1370	1570	2400	2050	602	2110	264	2520	484	1440	2030	1800
Zeytinburnu Millet Bahçesi	455	996	359	1180	3270	1800	901	1060	1340	808	636	794	691
75. Yıl Parkı	1080	1820	1190	1880	2860	1270	1900	1020	2350	627	311	1650	1750

Dr. Ziya Gün Parkı	782	1480	583	1300	3230	1690	1290	1100	1740	713	1170	1040	1190
Mehmet Tahan Parkı	1710	1580	1220	953	4480	3180	524	2340	40	2200	1220	844	784
Şehitler Parkı	1070	1520	1790	2610	1850	396	2310	450	2740	694	1630	2240	2000
Seyitnizam Parkı	776	1260	1500	2340	2110	693	2020	154	2450	468	1340	1960	1710
Merkezefendi Parkı	1570	2050	2180	2980	1650	182	2780	952	3230	1080	2150	2660	2490
Panaroma 1453 Parkı	2920	3350	3540	4280	1270	1460	4140	2300	4610	2430	3500	3980	3870

Topkapı Kültür Parkı	2720	3130	3350	4130	1090	1260	3950	2100	4410	2260	3290	3830	3660
Stad Parkı	843	1550	594	1260	3310	1750	1330	1180	1780	784	1240	1020	1210
Zeytinburnu 15 Temmuz Meydanı	469	817	481	1190	3340	810	776	1120	1220	941	434	783	503
Zeytin Park	26	716	824	1580	2880	1500	1230	662	1660	578	581	1220	911
�zg�rl�k Parkı	167	627	1000	1750	2740	1440	1350	579	1760	620	609	1380	1000
Öğretmenler Parkı	515	1020	1270	2070	2360	975	1770	152	2200	324	1060	1700	1380

Osman Zeki Bayraktar Parkı	415	979	1170	1960	2460	1060	1660	256	2100	287	987	1600	1350
----------------------------	-----	-----	------	------	------	------	------	-----	------	-----	-----	------	------

Aday Noktalarına Kurulan Kablosuz Teknolojilerin Talep Noktalarını Kapsama Matrisi

Not: Aday noktaları ve talep noktaları yukarıda verilen tablolardaki sıraya göre sırasıyla a1 ve d1 olacak şekilde ilerleyerek tabloda gösterilmiştir.

Aday Noktasına Kurulan Kablosuz Teknoloji	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23	d24	d25	d26	d27	d28	d29
Lora.a1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Lora.a2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
Lora.a3	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Lora.a4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lora.a5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lora.a6	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Lora.a7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Lora.a8	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Lora.a9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lora.a10	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Lora.a11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
Lora.a12	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Lora.a13	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

Sigfox.a1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a4	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a5	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
Sigfox.a6	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
Sigfox.a8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a9	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Sigfox.a13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
NB-IoT.a1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
NB-IoT.a2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
NB-IoT.a4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NB-IoT.a9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a10	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
NB-IoT.a11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
NB-IoT.a12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NB-IoT.a13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKBULUT, Ali Burak
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :
 Medeni hali :
 Telefon :
 Faks :
 e-mail :

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Yönetim Bilişim Sistemleri	Devam ediyor.
Lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2014
Lise	Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu	Bilişim Uzmanı
2018-2020	Sahil Güvenlik Komutanlığı	Endüstri Mühendisi
2015-2018	EnerjiSA	Uzman

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

AKBULUT, A.B., ÇETİNYOKUŞ, T. & ÇALIŞKAN, E. (2024). Mathematical Model Driven Decision Support System Proposal for Selecting Wireless Technologies After a Natural Disaster, 3rd International Informatics and Computer Science Conference (ICI-CS2024) March 14-15, 2024 Ankara, Turkey ISBN: 978-975-507-342-2 Gazi University Publications No:29



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR.