



Afet Yönetimi ve Kablosuz İletişim Sürekliliğine Genel Bakış

Gizem ORTAÇ¹, Derya YILTAŞ-KAPLAN^{1*}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
 Gizem ORTAÇ ORCID No: 0000-0003-1228-9852
 Derya YILTAŞ-KAPLAN ORCID No: 0000-0001-8370-8941

*Sorumlu yazar: dyiltas@iuc.edu.tr

(Alınış: 10.12.2020, Kabul: 30.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
 Afet Uyarı Sistemi,
 Afet Yönetimi, Haberleşme Sistemi,
 Kablosuz İletişim, İletişim Ağı

Öz: Afet sırasında ve sonrasında bir bölgedeki iletişim sistemlerinin çalışmaya devam etmesi hayati öneme sahip konulardan biridir. Afet ve diğer acil durum zamanlarında telekomünikasyon altyapısında oluşan hasarların tespiti ve tamiri oldukça büyük vakit kaybına neden olabileceği için bu iletişim şekli tercih edilmemektedir. Ayrıca ortaya çıkabilecek hizmet kayıpları da afet bölgesindeki yardım ekiplerinin yaşayabileceği zorlayıcı durumlardan biridir. Bu nedenle hem afetlerden önce uyarı sistemlerinin tasarlanması hem de afet sürecinde iletişim sürekliliğinin sağlanması çok büyük bir öneme sahiptir. Bu sistemler sayesinde doğal afetlerden kaynaklanabilecek zararlar en aza indirgenebilmektedir. Bu alanda gerçekleştirilen teknik ve bilimsel araştırmalar da oldukça önemlidir. Bu araştırmaların kapsamında çoğunlukla afet uyarı sistemleri, bir afetin etkilemeyeceği iletişim ağlarının geliştirilmesi ve alternatif haberleşme sistemleri bulunmaktadır. Mevcut çalışmada ise son yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan afet ve acil durum yönetim uygulamaları hakkında bir derleme yapılmıştır. Teknolojik açıdan farklı sistemlerin neler olduğu ve bunların işleyişi açıklanmaktadır. Bu çalışma ile aynı çatı altına alınan literatür örnekleri, özellikle bilgisayar mühendisliği alanındaki gelişmeleri disiplinler arası bir platforma taşımaktadır.

An Overview of Disaster Management and Wireless Communication Continuity

Keywords
 Disaster Warning System,
 Disaster Management, Telecommunication System,
 Wireless Communication, Communication Network

Abstract: It is vital that communication systems in a region continue to function during and after a disaster. This form of communication is not preferred since the detection and repair of the damages in the telecommunication infrastructure during disasters and other emergencies can cause a considerable waste of time. In addition, possible service losses are one of the challenging situations that aid teams in the disaster area may experience. For this reason, it is of great importance to design warning systems before disasters and to ensure continuity of communication during the disaster process. Thanks to these systems, damages that may arise from natural disasters can be minimized. Technical and scientific research in this field is also very important. The scope of these researches mostly includes disaster warning systems, development of communication networks that will not be affected by a disaster, and alternative communication systems. In the present study, a review has been made on disaster and emergency management practices implemented by various researchers in recent years. Technologically different systems and their functioning are explained. Literature examples taken under the same roof with this study have brought the developments in the field of computer engineering to an interdisciplinary platform.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca doğal veya suni afetler sürekli var olmuştur ve önlenemez felaketleri oluşturmuştur. Afetlerin oluşumuna etki edilemese de ortaya çıkaracakları hasarların azaltılmalarına çalışılmaktadır.

Bu amaçla etkin uyarı sistemleri ve afet sonrası kurtarma yönergeleri hazırlanmalıdır. Afetler sırasında meydana gelen olaylar arasında iletişim altyapısının çökmesi bulunmaktadır. Buradaki başlıca etkenler anten ve güç kaynağı gibi donanımsal ekipmanın hasar görmesi ile binaların yıkılmasıdır. Bu şekilde çok büyük zararlar doğuran afet olaylarına karşı detaylı acil durum yönetim

planlarının ve bununla bağlantılı olarak erken uyarı sistemlerinin hazırlanması oldukça önemli bir iştir. Böylece insanlar, teçhizatlar ve gereksinim duyulacak çeşitli malzemeler koruma altına alınabilir. Afet yönetimi ve aynı kapsamdaki acil durum müdahalesi ile bu işlemler planlandığında hız önemli bir etken ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle hasar gören iletişim altyapılarının tamirinden çok, alternatif iletişim sistemlerinin tasarlanması ve devreye konması daha uygundur. Böylelikle afet karşısında bütün toplum yanında korunma ve dayanıklılık da oluşabilecektir [1-2].

Afet sonrasında iletişim sistemlerinin korunması kapsamında birçok önemli konuya gereksinim duyulmaktadır. Bunlar arasında afet bölgelerinde arama-kurtarma çalışmalarının organize edilmesi, insanların tahliye edilmesi, acil ihtiyaçların hızlıca tespit edilmesi ve ulaştırılması, güvenliğin sağlanması gibi önemli görevler bulunmaktadır. Bütün bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için görevli ekipler arasındaki iş birliğinin hızlıca sağlanması ve bu amaçla da bir iletişim ağının oluşturulması gerekmektedir. Güvenilir ve yeterli kapasiteyi taşıyan bir bant genişliğine sahip bilgi ve iletişim ağı sayesinde en temel öncelikler olan gıda ve yaşam malzemesi ihtiyaçlarının tedarik adımları gerçekleştirilmeli ve bu malzemelerin ihtiyaç sahiplerine dağıtılması sağlanmalıdır [3]. Bu çalışma boyunca bahsedilen ağ yapıları, bilgisayar sistemlerinden sonra ortaya çıkan bir kavram olarak, gerektiğinde hücreli iletişim ağlarını oluşturan çeşitli cihazların bir araya gelmiş halini ifade etmektedir. Afet durumlarında aralarında bağlantı oluşturulan her türlü ekipman bütün olarak bunu ifade etmektedir.

Afet müdahale kuruluşlarının iş koordinasyonunu sağlamaları ve gerekli iletişimi kurmaları için çeşitli bilgi ve iletişim teknolojileri kullanılmaktadır. Ancak bu teknolojilerin gelişen dünyaya ayak uydurarak sürekli güncellenmesi ve yeni versiyonlarının ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bu nedenle bilgi ve iletişim teknolojileriyle ilgili yazılım ve donanımı tasarlayan, başka bir deyişle araştırma-geliştirme alanında çalışan uzmanların afet müdahale kuruluşlarıyla iş birliği içinde olmaları önemlidir. Böylece gerekli ihtiyaçlar daha net bir şekilde öğrenilerek bu doğrultuda sistemler üretilebilmektedir. Günümüzde acil müdahale ekipleri ile vatandaşlar arasında bilgi alışverişini ve iletişimi kolaylaştırmak amacıyla birçok araç ve ortam kullanılmaktadır. Bunlar arasında çevrimiçi haritalar, sosyal medya, akıllı saatler ve mobil uygulamalar bulunmaktadır. Ayrıca hücreli altyapısının olmadığı durumlarda bile iletişim kurmayı sağlayan, bozulmaya karşı toleranslı ağ sistemleri vardır. Uluslararası düzeyde de afet müdahalesi koordinasyonunu sağlamak için bulut tabanlı servisler sunan teknoloji şirketleri bulunmaktadır. Ayrıca insansız hava araçları (İHA'lar) ve arama-kurtarma robotları da afet bölgesindeki yardım faaliyetleri için kullanılmaktadır. Burada önemli olan nokta, bu teknolojilerin birbirine bağlı ve hiyerarşik bir düzende çalışma gerekliliğidir. Bu kapsamda bilgi ve iletişim sistemlerinde çalışan görev ekiplerinin

belirlenmesi ve etkin görev dağılımlarının yapılması bunu sağlamaktadır [4].

Afet müdahale sistemlerinin dışında uyarı sistemleri de acil durum veya afet öncesi yaklaşan tehdidi duyurmak ve gerekli tedbirlerin alınmasına zaman kazandırmak için gereklidir. Bu sistemler ortaya çıkacak tehdidin özellikleriyle ilgili gerekli mercilerin ve tehlikede olan kişilerin bilgi almalarını ve bu konuda geri dönüş yapmaları için belirli bir sürenin kazanılmasını sağlamaktadırlar. Bunlarla birlikte ortaya çıkabilecek tehditleri engellemek amacıyla yeterli bir ön sürenin olması için de afet yönetim sürecinin erken uyarı ve hazırlık aşamaları çok önemlidir. Literatürde yapılan çalışmalardan edinilen bilgilere göre afet uyarı sistemlerinin can ve mal kayıplarını büyük oranda azalttığı görülmektedir.

Bu çalışmada 2. Bölüm afet uyarı sistemlerini ve bunların çeşitlerini açıklamaktadır. 3. Bölüm afet bölgesindeki iletişim ağının sahip olması gereken koşulları ele almaktadır. 4. Bölüm son yıllarda literatürde yer alan çalışmaların geniş çaplı analizini sunmaktadır. Son olarak 5. Bölüm konuyla ilgili bazı önemli noktalara değinmektedir.

2. AFET UYARI SİSTEMLERİ

Afet uyarı sistemleri doğal afet kaynaklı can ve mal kaybını azaltmak için geliştirilen araçlardır. Bu sistemler sayesinde afetten etkilenebilecek kişilere afet hakkında ön bilgiler ve afetten korunmak için alınabilecek tedbirler iletilmektedir. Böyle bir hazırlık, erken tespit ve uyarı iletişiminin olması durumunda afet sonrasında can ve mal kayıplarının azaltılabildiği görülmektedir. Bu duruma en iyi uluslararası örnekler arasında gösterilen 2004 yılında Hint Okyanusu'nda gerçekleşen tsunami, 2009 yılında Avustralya'daki Victoria orman yangını ve 2011'de Japonya'da gerçekleşen Tohoku depremi ve tsunami olayları hakkında ayrıntılı bilgiler incelenebilir.

Afet uyarı sistemlerinin etkin çalışmaları için altyapılarının güvenilir, iletişim ağlarının da dayanıklı olması gerekmektedir. Yaygın uyarı sistemleri sirenler ve radyo/televizyon gibi aygıtlardır. Bu konuda günümüzde sürekli gelişmeye devam eden teknolojiler ise İnternet ortamı aracılığıyla birleşen mobil ve sosyal ağ yapıları ile kullanıcı taraflı bilgilerin de devreye girmesini sağlamaktadır. Örneğin birçok ülkenin acil durum yönetimi için kullanmakta olduğu mobil konum tabanlı hizmetler afetlerden korunmak için çok önemli görevleri yerine getirmektedir [5].

Yaklaşmakta olan afet veya risk durumları hakkında uyarı mesajları iletmek ve kritik olan güvenlik bilgilerini sunmak amacıyla yedek iletişim kanallarının oluşturulması zorunludur. Bu yedek kanallar erişim kapsamını genişleterek ilettikleri uyarıların etkinliğini çoğaltabilmekte ve acil durum bilgilerinin teyit edilmesini sağlayabilmektedirler. Tabela, siren, hoparlör, radyo/televizyon, sabit telefon şebekesi ve İnternet gibi geleneksel iletişim kanalları yalnızca uyarıların bilgi işlevini karşılayabilir. Daha kapsamlı iletişim için çeşitli

uyarı sistemleri geliştirilmeye devam edilmektedir. Temel olarak mobil, uydu tabanlı, kablosuz ağ tabanlı ve hava aracı destekli olmak üzere oluşturulan dört uyarı sistem sınıfı aşağıda açıklanmaktadır.

2.1. Mobil uyarı sistemleri

Eskiden yaygın kullanılan sabit telefon şebekeleri herhangi bir acil durum sırasında bilgilendirmeyi sağlasa da kablolu sistemlerin genelinde yaşandığı gibi yerel bir bölge çapında, herhangi bir kesinti yaşanmadığı sürece aktif çalışmaktadır. Son yıllarda multimedya ve iletişim araçlarında ortaya çıkan yenilikler sayesinde uyarı mesajları ve güvenlik bilgileri daha etkin bir hale getirilmektedir. Bu araçlar arasında en çok tercih edilenler mobil/cep telefon cihazlarıdır ve bunlar sayesinde mobil uyarı sistemleri oluşturulmaktadır. Acil durumlara ilgili bilgi alışverişi için genel olarak iki mobil telekomünikasyon teknolojisi görev yapmaktadır. Bunlar Kısa Mesaj Servisi (SMS) ve Hücre Yayın Servisleridir (CBS). SMS çoğunlukla bilinen bir yapı olduğu için çalışmanın bu kısmında CBS hakkında kısa bir açıklama yapılmaktadır. CBS'te baz istasyonunun bulunduğu merkez noktadan sabit bir alanda yer alan tüm kullanıcılara doğru tek biçimli/yalın metin mesajları gitmektedir. Burada önceden belirli bir coğrafik alanın yerine bir hücre taşıyıcı ağ düşünüldüğü zaman bu ağdaki tüm hücrelere mesaj gönderimi söz konusu olmaktadır. CBS'te çoklu kanallar üzerinden iletim yapıldığı takdirde farklı servis mesaj türlerinin gönderilmesi de mümkün olmaktadır. Bu durumda mobil cihaz radyo sinyallerinde yapıldığı gibi belirli bir kanala ayrılanmaktadır. Çoklu kanal yapısında çok fazla sayıda kullanıcı olduğu durumlarda CBS ağlarının kapasitesi işlem yapmak için yeterli olmamaktadır.

Mobil telefonlar içerisinde son yıllarda kullanılmaya başlanan akıllı telefon çeşidi ise iletişim sağlamakla birlikte birçok farklı kaynaktan, farklı formatlarda bilgi alma imkânını da beraberinde getirmiştir. Bu cihazların hemen hemen hepsine entegre edilmiş olan bir Global Konumlandırma Sistemi (GPS) alıcısı ve konum sabitlemeyi sağlayan haritalar bulunmaktadır. Konum tabanlı acil durum uyarı servisleri çalıştığı zaman belirli bir coğrafi alandaki aktif mobil cihazlara uyarılar ve gerekli güvenlik bilgileri gönderilmektedir. Burada mobil cihazların konumları acil çağrılardan ve SMS talebi gerçekleştirildikten sonra da belirlenebilmektedir. Mobil uyarı sistemlerinin kapasitesi ve güvenilirliği ilgili telekomünikasyon ağ altyapısına bağlı olduğu için bazı durumlarda dezavantaj da yaşanabilmektedir. Özellikle coğrafi açıdan büyük bölgelerde ve mobil ağların olmadığı kapsama alanlarında iletişim sistemlerinin etkileri azalmaktadır. Bu nedenle büyük şehirlerde iletişim aksamasının olması söz konusu değilse de kırsal bölgelerde kapsama alanı ya çok azdır ya da yoktur. Mobil uyarı sistemleri açısından bu tür bölgeler için uygun olan çözüm algılayıcı (sensör) ağların kullanılmasıdır. Oluşturulan kablosuz algılayıcı ağlar yanlış alarm sayısını ve bu sayede oluşabilecek karmaşayı azaltmaktadır. Bu ağların kullanılmasıyla oluşturulan mobil uyarı sistemleri afetleri hızlı tespit

etme özellikleri sayesinde zamanında alarm vererek güvenli bir yaşam ortamı sunmaktadır [6].

2.2. Uydu tabanlı uyarı sistemleri

Uyduyla bağlantılı çalışan acil durum uyarı sistemleri günümüzde gelişmekte olan yapılar arasında bulunmaktadır. Yerde konumlandırılmış iletişim kanalları az veya tamamen kapsama alanının dışındaysa ya da başlıca telekomünikasyon hizmetleri coğrafi engeller gibi bazı nedenlerden dolayı kullanılamıyorsa uydu tabanlı konum tespiti tercih edilmektedir. Kritik öneme sahip olan uydu bağlantılı sistemler çeşitli afet olaylarında önemli bir yere sahip olmaktadır. Bu konuda örneğin meteorolojik ve uzaktan algılama uyduları pek çok veriye ulaşarak ilgili durumla alakalı farklı analizlerin gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadırlar. Uydu tabanlı uyarı sistemlerine bir örnek, Japonya'da üretilen ve Superbird-B2 isimli iletişim uydusunu kullanarak mesaj gönderimini yapan J-Alert'tir. Benzer şekilde tehlike alarmını algılama, bilgi dağıtma ve arama-kurtarma sistemi olarak hazırlanmış olan uluslararası Cospas-Sarsat Programı da bu sistemler arasındadır. Cospas-Sarsat [7]'nin web sitesinde de incelenebileceği gibi bu uluslararası uydu sistemi, sistemde kayıtlı olan ve kontrol işareti olarak görev yapacak olan bir radyo ileticisi (beacon) aracılığıyla acil durumdaki bir kişinin kurtarılmasını hedeflemektedir. Kontrol işaretinin çalışmasıyla birlikte tehlikedeki kişinin gerekli özel bilgilerinin arama-kurtarma ekiplerine iletimi sağlanmış olmaktadır. Bu sistem gemi, uçak veya dağlık alan gibi ortamlarda bulunan kişiler için önemlidir.

Gezirim uydularından oluşan acil durum uyarı sistemlerinin özellikleri, mobil telekomünikasyon hizmetlerini ve uydu iletişimini bir arada sunmayı uygun hale getirmektedir. Uydu sistemlerine örnekler ABD'deki GPS, Avrupa'daki Galileo, Çin'deki BeiDou ve Rusya'daki GLONASS gösterilebilmektedir. Bu sistemler yeryüzünden uzaktaki yüksek yörüngelerde bulunmaktadır. Sinyaller uydulardan yer alıcısına tek yönlü gelmektedir ve radyo sinyalleri aracılığıyla konum tespiti yapılmaktadır. Birçok uygulamayla birlikte acil durum ve afet yönetiminde de kullanılan bu sistemlerin konumları ve işleyişleri düşünüldüğü zaman karasal telekomünikasyon altyapılarına göre dayanıklılık ve güvenilirlik özelliklerinin öne çıktığı görülmektedir. Benzer şekilde, sistem içerisinde yer alan tüm uyduların toplam kapsama alanlarının bütün dünyayı içermesi söz konusu olduğu için de mobil uyarı sistemlerindeki kapsama problemleri ortadan kalkmaktadır. Ayrıca karasal telekomünikasyon trafik yoğunluğundan ve oluşan kapasite fazlalığından etkilenmeden birçok insana hizmet vermektelerdir [5]. Bütün bu özellikler sayesinde uydu sistemleri, afet sonrası oluşan çeşitli altyapı bağlantı problemlerinin aşılması için etkin bir seçenek olarak görev alabilmektedir.

Yukarıda sayılan birçok avantaja ve oldukça sağlam yapılara sahip olan uydu sistemlerinin elbette bazı olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Uyduların servis ve bakım süreçleri uydu servis sağlayıcıları ve kullanıcılar

açısından çok maliyetli olmaktadır. Uydu telefon kullanımları cep telefonları gibi yaygınlaştıkça sinyallerle bağlantılı bilgilerin hangi konumdan geldiğini coğrafi bilgiler aracılığıyla bulmak kolaylaşabilecektir [5].

2.3. Kablosuz ağ tabanlı uyarı sistemleri

Afet durumları sırasında iletişim için kullanılan kablosuz ağ teknolojileri algılayıcılar, değişik topolojilere (tasarsız, örgüsel, vb.) sahip kablosuz aygıt kümeleri ve giyilebilir dijital cihazlardır. Burada en yaygın kullanılanlardan biri mobil tasarsız ağlardır (Mobile Ad-hoc Networks, MANETs). MANET'ler sabit bir ağ topolojisi gerektirmeden, mobil olarak ve hızlı bir şekilde ağ oluşturmayı sağlamaktadırlar. MANET'lerin dinamik ve gerçek zamanlı işlem yapmaları acil durum bölgelerinde ekiplerin özellikle başlangıç aşamasındaki hizmetleri için önemli bir özelliktir. MANET gibi yaygın kullanılan başka bir teknoloji de kablosuz algılayıcı ağıdır. Algılayıcılar kablosuz olarak algılama ve işleme yapan, sınırlı hesaplama gerçekleştirebilen, küçük boyutlu, düşük güce sahip ve düşük maliyetli cihazlardır. Geniş bir alana çok sayıda algılayıcı düğüm dağıtılarak bunların kendi aralarında veri iletiminin ve aktarımının gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Algılayıcılar özellikle müdahale ekiplerinin afet bölgelerinden çeşitli biçimlerde veri elde etmelerini sağlamaktadırlar. Bu veriler sayesinde farklı şartlarda anlık ve uygun kararların alınması kolaylaşmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlar özellikle endüstriyel güvenlik, meteorolojik tehlikeler ve yangın gibi birçok alanda görev yapmaktadırlar [8].

2.4. Hava aracı destekli uyarı sistemleri

Afetler için kullanılan uyarı sistemlerinden biri de kumanda donanımlarına sahip İHA'lar adıyla bilinmektedir. İHA'lar yüksek çözünürlüklü görüntüleri analiz edebilmektedirler. Böylece bina cepheleri ve geniş çaplı yükselti gibi alanlar tespit edilebilmekte ve tehlikeli bölgeler üzerinde keşif yapılabilmektedir. Bu durum afet bölgeleri için uygun sistemler olduğunu da ortaya koymaktadır. İHA'lar aracılığıyla afet öncesindeki koşulların neler olduğu ve çevresel özellikler üzerindeki değişimler de izlenebilmektedir. İhtiyaç duyulan keşif verilerinin alınmasından sonra yardım ekipleri gerekli şekilde koordine edilebilmekte, binalarda veya tüm bölgede yaşanan hasar durumları ve iletişim bozuklukları ortaya çıkarılabilmektedir. Ayrıca afet durumuyla bağlantılı bilgilerin kullanılmasıyla uygulamalı ve simülasyon ortamı afet modelleri oluşturulabilmektedir. Bütün bu işlemler uzaktan algılama ve görüntü işleme tekniklerinin yardımıyla yapılmaktadır [9].

3. AFET BÖLGESİNDE İLETİŞİM AĞI GEREKSİNİMLERİ

Noguchi [10]'un araştırmasında belirttiği üzere 11 Mart 2011'de Japonya'da meydana gelen 9,1 şiddetindeki deprem sonucu oluşan tsunamide binlerce can kaybı olmuş, çok sayıda tesis ve bina yok olmuştur. Hussain ve

ark. [11]'nın belirttiğine göre Asya'da insan kayıplarının yüzde 85'i doğal afetler sebebiyle meydana gelmiştir. 8 Ekim 2005'te ise Pakistan'ın Himalaya bölgesi ve Keşmir'in kuzeyini vuran 7,6 büyüklüğündeki depremde ise aralarında 19.000 çocuğun bulunduğu 100.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir. Ayrıca 3,5 milyondan fazla evsiz kalan insan tespit edilmiştir. 25 Eylül 2013 tarihinde ise yine Pakistan'da meydana gelen depremden birçok alan yerle bir olurken binlerce kişi depremden zarar görmüştür [11]. Etdel [12]'in belirttiği gibi Amerika kıtasındaki Haiti ise son yirmi yılda afetlerden ötürü ölümlerin en çok yaşandığı ülkedir. 26 Aralık 2004'te Hint Okyanusu'nda meydana gelen büyük depremin ardından oluşan tsunami ise 14 ülkede yıkıcı etkiye sebep olmuştur. En ağır kayıp, 130.736 ölü sayısı ile Endonezya'da yaşanmıştır. 2008 yılında Myanmar'ı vuran Nargis Kasırgası ile 138.000 vatandaş hayatını kaybetmiştir. Ülke hükümeti yaşanan bu afetten sonra ulusal afet planları hazırlayarak halkı eğitmeye çalışmıştır [12].

Türkiye ise jeolojik olarak genç bir ülke olduğu için sürekli olarak doğal afet tehlikesiyle karşı karşıyadır. Ülkemizde deprem, heyelan, sel, çığ, kuraklık, orman yangınları ve fırtına gibi çok çeşitli afetler görülmektedir. Türkiye'deki tüm doğal afetlerin en yaygın türü %32,7 ile heyelandır. Seller %12,2 oranında görülmektedir. Bir diğer afet türü ise %3,8 oranında olan çığdır. Öte yandan Türkiye'de deprem görülme oranı %6,8'dir; ancak depremin maddi ve manevi yıkıcı etkisi bu orandan daha fazladır. Çünkü özellikle büyük fay hatlarının yer aldığı Batı Anadolu, Kuzey Anadolu ve Güney Anadolu bölgelerinde bulunmaktadır. Deprem konusunda Türkiye Afet Bilgi Bankası isimli proje [13] ile afet dokümantasyonu ve analizi konularında planlama yapılarak geçmiş verilere ulaşılması hedeflenmiştir. Deprem verileri incelendiği zaman eski yıllardan günümüze yaşanan Erzincan, Bolu, İzmit ve Düzce gibi birçok yıkıcı depremden can ve mal kayıpları daha net anlaşılabilir. Ülkemizde 2020 yılındaki en şiddetli depremler de Elazığ (Sivrice) ve İzmir (Ege Denizi) illerimizde meydana gelmiştir. Türkiye'de 2018 verilerine göre 20. yüzyılın başından itibaren gerçekleşen doğal afetler neticesinde yaklaşık 100.000 kişi hayatını kaybetmiş, 61.424'ün üzerinde kişi yaralanmıştır. Öte yandan yıkılan bina sayısının 108.573'ün üzerinde, hasar gören bina sayısının da 1.337.521'in üzerinde olduğu belirtilmiştir [14]. Afet yönetim sistemlerinin etkin kullanımı tüm doğal afetlerden kaynaklanan kayıpları en aza indirmek için oldukça önemlidir.

Afet bölgesinde görev alan yardım ekiplerinin ana merkezle ve kendi aralarında sağlıklı bir iletişim kurmaları zorunlu bir durumdur. Bölgede bilgi alışverişinin kolay olması için bütün ihtiyaçların belirlenmesi ve buna uygun bir sistem oluşturulması gerekmektedir. Gerçek zamanlı bir haberleşme ortamı için kullanılabilir en yalın iletişim aracı ses olduğu için sese dayalı teknolojilerin sorunsuz bir şekilde kullanılması sağlanmalıdır. Bu nedenle telefon hatlarının

gereksizce kullanılmaması, meşgul edilmemesi ve önceliğin yardım ekiplerine verilmesi sağlanmalıdır.

Bir afet bölgesiyle iletişim ve koordinasyon sağlama sırasında görev alan birimler ve bunlar arasındaki bağlantılar Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekil 1, Jahir ve ark. [3]’nin örneğinden yola çıkılarak çizim olarak yeniden yorumlanmıştır.

Afet bölgeleriyle bağlantılı iletişim problemleri arasında geleneksel afet yönetim sistemlerinin yüksek maliyetleri, bant genişliği kısıtları, güvenilirlik açısından çift altyapı gereksinimi ve iletişim gecikmesi bulunmaktadır. Bunların dışında telefon ve sesli mesaj hizmetlerinin kullanımındaki artışla birlikte trafik sıkışıklığı görülmektedir. İletişim ağında yeterli sayıda kaynak olmadığı zaman veri kaybı olmaktadır. Afetten etkilenen tüm alana donanımsal ekipman sağlamak için yeterince zamanın olması gerekmektedir. Bütün bunların dışında afetlere hazırlık programlarında unutulmaması gereken temel konuların başında güç/enerji gelmektedir. Bu nedenle güç kesintileri karşısında alınacak önlemler ve çözüm yolları etraflıca belirlenmelidir [15].

Afet bölgesinde radyo iletişimi oldukça büyük öneme sahiptir. Radyo iletişiminin sağlıklı yürümesi için hızlı kanal ayarlamasının yapılabilmesi ve parazitten uzak olunması gerekmektedir. Aynı frekansın yoğun kullanılmaması gerektiğinden dolayı afet bölgesindeki ağlar için frekans tahsisi ve düzenlemesi gibi konuların önemle planlanması gerekmektedir [3].

Afet sırasında kullanılan kablosuz ağların gereken ölçüde kesintisiz bir şekilde iletişim kurması beklenmektedir. Özellikle kullanılan yönlendirme protokollerinin etkin sonuç üretmesi önemli bir adımdır. Bundan başka afet önleme sistemlerinin aşağıdaki

niteliklere sahip olmasının gerektiği belirtilmektedir [16]:

- Kurtarma operasyonlarında kullanılacak olan ağ sistemleri mobil iletişime uygun ve çevre şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır. Bu sistemlerin kablosuz tasarlanması görevlerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi için önemlidir.

- Afet bölgesiyle bağlantılı kablosuz ağların güvenlik fonksiyonlarına ve gizlilik mekanizmasına sahip olması gereklidir.

- Afetle ilgili takibin sağlıklı olması için ağdaki bilgiler kesintisiz bir şekilde güncellenmeli ve korunmalıdır. Bu nedenle sistemde düzenli yedeklemeler yapılmalıdır ki sonradan sistemin geri yüklenmesi gerçekleştirilebilir.

- Kurtarma ekibinde görev alan kişiler diğerleriyle iletişim kurabilecek yetkiye sahip olmalıdır. Aradaki tüm iletişimin komuta merkezi tarafından gözlenmesi gereklidir. Ekiplerin kendi içindeki ve diğer ekiplerle olan dış iletişimlerini ayrı ayrı ele alınmalıdır.

- Kurtarma ekipleri kendilerinden uzak konumda yer alan komuta merkezine kolayca ulaşabilmelidir. Aynı şekilde, komuta merkezi ekipler arasında koordinasyon oluşturmak amacıyla tüm ekiplerle iletişimde olmalı ve onları sürekli takip edebilmelidir. Bütün bu bağlantılar için sistem donanımında çok yönlü ağ protokolleri seçilebilmektedir.

- Her bir mobil kurtarma ekibinin 40.000 metrekareden daha geniş bir alanda görev yapabilecek özellikte olması gerektiği belirtilmektedir. Bu şekilde geniş bir afet bölgesinin tamamında çalışılacağı için sistem ağır bir veri trafiğini kaldırabilecek kapasitede olmalıdır.



Şekil 1. Afet bölgesi kablosuz ağı sistem organizasyonu [3]

4. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Afet nedeniyle hasar almış olan bir iletişim ağı, afet yönetiminin etkin yapılmasını engellemekte ve acil ihtiyaç dağıtımları sırasındaki karar alma süreçlerinde büyük problemleri ortaya çıkarmaktadır. Kawamura ve ark. [17], çalışmada bahsettikleri sorunların çözülmesi ve etkin bir iletişim sisteminin kurulması için ZigBee ve CBS teknolojilerini önermektedirler. ZigBee kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılan iletişim standartlarından biridir. Endüstriyel otomasyon, inşaat ve tarım gibi alanlarda uygun bir teknolojidir. ZigBee'nin başka kullanım alanları arasında otomatik sayaç okuma sistemleri, uzaktan kumandalar ve güvenlik sistemleri yer almaktadır. Kawamura ve ark. [17]'nin bahsedilen çalışmasında Japonya'nın Tsukuba şehrinin afetlere maruz kalan bölgesi için haritalama ve örnekleme analizleri yapılmaktadır. Buradaki ZigBee sisteminin etkileşim alanında afet olduğu sırada acilen bir kontrol merkezi ve çeşitli tahliye merkezleri kurulmaktadır. Kontrol merkezinde kurulu bir sunucu sayesinde dijital haritalar toplanarak analiz edilmektedir. Bu haritalarda yer alan bilgiler, sonradan uzaktan algılanan görüntülerden tespit edilen afet hasar durumlarına göre sürekli olarak güncellenmektedir. Bilgi alışverişi öncelik durumuna göre araştırmacılar, kontrol merkezi, tahliye merkezleri ve afetzedeler arasında uygun biçimde ayarlanmaktadır. Çalışmada sonuç olarak, afet bölgesindeki müdahale işlemlerini desteklemek için kurulan bu iletişim sisteminin etkinliği ve belirli koşullar altında başarılı olduğu anlatılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, afetten etkilenen bölgedeki çevresel koşulların iletişim ağındaki düğüm sayısını ve düğümlerin yerleşim düzenlerini etkilediği belirtilmektedir.

Hoechner ve ark. [18], 2011 yılında Tohoku'da gerçekleşen depremden yola çıkarak gerçek zamanlı GPS kullanarak bir tsunaminin önceden uyarısını sağlayan bir uygulama geliştirmişlerdir. Burada belirli sayıda GPS istasyonu kullanılarak verilerin gerçek zamanlı ve kaliteli akışı sağlanmaya çalışılmıştır. Bütün veriler elde edildikten sonra yüksek hassasiyetli ölçümler tamamlanmıştır. Böylece deprem büyümesi deneylerle gözlemlenmiş ve Tohoku depreminin başlangıcından 3 dakika kadar sonra tsunami olacağı doğru bir şekilde tespit edilmiştir. Uygulama sırasında yapılan çıkarımlar, GPS sayısının artırılarak en optimal sayının belirlenmesinin önemli olduğu ve GPS'nin kısa süre içinde faydalı veriler sunması için kaynağa yakınlığının gerekli olduğudur. Maksimum faydalı mesafe olarak ifade edilen ölçüm, belirli bir GPS kümesine daha düşük bir deprem büyüklüğünü tespit edebilme sınırını uygulayan büyüklük ile gösterilmektedir. Afet durumlarında GPS'nin Cascadia, Endonezya, Şili ve Japonya gibi yerlerde kullanıldığı, ancak tsunami erken uyarı sisteminde kullanımıyla ilgili bir örneğin bulunmadığı belirtilmektedir. 2004 yılından sonra "GPS kalkanı" kavramı ortaya çıkmıştır ve GPS tabanlı tsunami erken uyarı sistemlerinin eklenmesi önerilmiştir [18].

Yulianto ve ark. [2]'nin çalışmalarında bahsedilen bir örneğe göre bir bölgede 7,7 büyüklüğünde gerçekleşen bir deprem ve tsunami olaylarının elektrik şebekesi altyapısını tahrip etmesi ve iletişim ağı altyapısını kapatması oldukça büyük sorunları beraberinde getirmiştir. Çalışmadaki temel amaç, Endonezya hükümetinin kullandığı iletişim teknolojilerinin doğal afetlerin ardından çalışma kabiliyetlerini tespit etmek ve herhangi bir iletişim kesintisi durumunda yeni alternatifleri bulmaktır. Bu doğrultuda insanların acil durum müdahaleleri sırasında nasıl iletişim kurabilecekleri hakkında bilgi vermek için tsunamiden sağ kurtulan otuz kadar kişiyle görüşülmüştür. Deneye katılanların bir kısmı tsunaminin depremden 3-4 dakika sonra gerçekleştiğini belirtirken başka bir grup depremden kısa süre sonra bir uyarı veya bilgi almadıklarını söylemişlerdir. Bulgular, iki yönlü telsiz sistemi ve uydu telefonu gibi bir dizi hücreli teknoloji cihazının acil müdahale koordinasyonu sırasında kullanılacak iki güvenilir cihaz olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin; bir afet sırasında mobil cihazlarını kullanabilen bazı kullanıcılar WhatsApp gibi sosyal medya aracılığıyla bilgi aldıklarını açıklamışlardır. Bunun dışında erken uyarı sisteminin afet başlangıcı için hazırlık imkânı sunması açısından önem kazandığı görülmektedir. Ayrıca, mobil baz istasyon sisteminin kullanılması da afet bölgelerinde yaşayan insanların iletişimlerini sağlamak için elverişli bir yöntem olmaktadır. Mobil baz istasyonları deprem sonrasında hasar gören elektrik ve telekomünikasyon altyapılarının tamiri için de kullanılmaktadır. Çalışmanın deneylerine katılan bazı kişiler hastane, havaalanı ve polis merkezleri gibi önemli yerlere konumlandırılan mobil baz istasyonları aracılığıyla telefon kullanımını gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Afet hazırlığı için mevcut iletişim kanal teknolojisi desteğinin optimal olmadığı belirtilmiş olsa da mobil cihazlarda çalışan baz alıcı-verici istasyonlarının afet bölgesi ihtiyaçları için tercih edilmesinin uygun olduğu ifade edilmektedir [2].

Bir afet yönetimi için hazırlık, hafifletme, müdahale ve iyileştirme olmak üzere dört evre bulunmaktadır. Afet yöneticilerinin afet öncesi ve sonrasında, ayrıca afet boyunca durumu en iyi şekilde analiz etmeleri, karar vermeleri ve durum tespitlerine göre uygun işlemleri seçmeleri için afet yönetimi bilgi sistemlerinin işe yaradığı belirtilmektedir. Bu bilgi sistemleri geniş işlem kapasitesi, hız, optimizasyon ve gerçek zamanlı verilerin işlenmesi konularını kapsamaktadır. Veri ihtiyacının güncel veri aktarımı ile karşılanması amacıyla küçük uyduların kullanılacağı Albayrak [19] tarafından ortaya konmuştur. Uydulardan gelen afet verileri erken uyarı sağlamak açısından çok önemlidir. Albayrak [19]'ın çalışmasında uydu verilerinin afet yönetimi bilgi sistemleri tarafından kullanılacağı zamanlar, yerler ve yöntemler de araştırılmaktadır. Küçük uyduların tüm afet türleri için, afetin her dönemi için ve afet yönetiminin her işlevselliği için kullanılacağı belirtilmektedir. Burada afetin türünün yanı sıra kaynağı da önemsizdir. Yani doğal veya insan kaynaklı faktörlerden oluşan her türlü afette uydular kullanılabilir. Ayrıca bu cihazların yerel bölgelerde değil de uluslararası ve dünya çaplı afetler için daha iyi sonuç vereceği ifade

edilmektedir. Bu şekildeki kullanımda afetlerin hasar etkilerinin azalmasıyla birlikte dünya ölçeğinde çok sayıda can ve mal kazancının sağlanabileceği belirtilmektedir.

Tuna ve ark. [1] kendi çalışmalarında İHA'lerden yararlanarak afet zamanları için bir acil durum iletişim altyapısını oluşturmaktadırlar. Sistemde uçtan uca iletişim, yerleştirme-gezinim ve koordinasyon olmak üzere üç kısım bulunmaktadır. Uygulama kısmında İHA'lar iki ayrı senaryoda kullanılmıştır. Birinci senaryoda yerdeki sabit konumlu radyolardan bir ağ oluşturulmuştur. Ağ üzerinde birkaç yer istasyonu kendi aralarında bağlantılı şekilde işlem yapmaktadır. İki düğüm arasında direk bağlantı olmadığında ise ara düğümler trafiği iletmektedirler. Dinamik olarak yol hesabı yapılarak tıkanıklık gibi anlık iletim problemlerinin önüne geçilmektedir. İkinci senaryoda ise bir İHA ile bir yer istasyonu arasında bağlantı kurularak genişletilmiş bir ağ yapısı ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada belirtildiği gibi küçük ölçekli mikro İHA'larda ağırlık, güç ve hacim gibi iletişim aralığını daraltan ölçüler vardır. Bu nedenle geniş çaplı bir iletişim alanı için ara düğümler olarak başka İHA'ların kullanılması gerekmektedir.

Afet sırasında veya sonrasında, afet yönetim sistemlerinin mobil hizmet sağlayarak her yerden erişilebilir ve kullanılabilir olması en temel gereksinimlerdenidir. He ve ark. [20]'nın çalışmasında ise afet yönetim sistemlerinin çoklu platformlardan ve çoklu cihazlardan erişim özelliğine dikkat çekilmiştir. Mevcut literatürde buna yeterince dikkat çekilmediği belirtilerek ilk kez yerel ve web uygulama teknolojilerinin birleşimi kullanılarak açık kaynaklı ve ücretsiz bir mobil afet yönetim sistemi geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, 1980'lerden beri Çin'in Amoy kentinde oluşan şiddetli bir tayfandan sonraki hasar ve risk tespiti için verilerin toplanması ve bunların yetkililerle paylaşılması sağlanmıştır. Böylece afet sonrası yönetim için düşük maliyetli, çevrimdışı çalışabilen ve taşınabilir bir sistemin olduğu belirtilmiştir.

Ülkemizde ve dünyada oluşan afetlerden sonra günümüzde bile iletişim kesintilerinin yaşandığı görülmektedir. Bu durum afet bölgesiyle ve afetzedelerle ilgili bilgi alma olanağını azaltmaktadır. Centelles ve ark. [21]'nin çalışmasında sivillerin ilk müdahale ekiplerine engel olmadan ve tehlikeye maruz kalmadan afetzedelerle durumları hakkında bilgi alışverişinde bulunmalarına olanak tanıyan bir iletişim sistemi önerilmektedir.

Alazawi ve ark. [22], ulaşım tahliyesinin iyileştirilmesi için bir afet yönetim sistemi önermişlerdir. Önceki çalışmalarındaki araç tasarsız ağ ortamıyla bağlantılı olarak burada da afet yönetim sistemlerinin araç içi sistemlere entegre edilmesi hedeflenmiştir. Bununla birlikte şehir dışındaki daha fazla sayıdaki tahliye noktasına güvenli bir erişimin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu işlemlerin yapıldığı simülasyon ortamlarındaki testler neticesinde önceki sistemin daha

iyileştirilmiş olduğu ve daha dengeli bir trafik dağılımının sağlandığı belirtilmiştir.

Chatfield ve Brajawidagda [23]'nin çalışmalarında sosyal ağ ortamı olan Twitter'ın alternatif bir iletişim kanalı olarak kullanılması hedeflenmiştir. Yapılan vaka çalışması ve tweet içeriklerinin analizi sonucunda, Endonezya'da 2010-2012 aralığında gerçekleşen üç farklı depremde afet tehlikeleriyle ilgili insanları uyarmak amacıyla hükümetlerin Twitter'ı ne ölçüde kullandığı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Twitter erken tsunami uyarı sisteminin, insanların tahliyesi için 7 dakikadan fazla bir süre sağladığı gözlemlenmiştir.

Birçok mikro denetleyici ve mikro denetleyici platformu sayesinde iletişimi her yerde mevcut ve mobil hale getiren, çeşitli aygıtların kendi aralarında ve diğer ağ sistemleriyle veri alışverişine olanak tanıyan Nesnelerin interneti (Internet of Things-IoT) teknolojilerini kullanan Sakhardande ve ark. [24]'nin çalışmalarında afet yönetimi ve akıllı şehir izleme için çoklu algılayıcılardan oluşan birbirine bağlı modüller ile veri toplanması amaçlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda IoT özellikli sistemlerde kullanılan düşük maliyetli bir modülün donanımı tasarlanmış ve bu modülün akıllı şehir izleme ve afet yönetimi için kullanılması önerilmiştir. Yapılan ilk testler olumlu sonuç vermiştir ve gelecekteki çalışmalarda ağın dayanıklılığının iyileştirilmesi, modüllerin değişen koşullara dinamik adaptasyonu ve afet yönetimi için özel bir protokol geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bilgisayar ağlarındaki başlıca iletişim protokollerinden olan İnternet Protokolü (IP) ile destekli IoT'yi kullanan bir diğer çalışma olan Hannan ve ark. [25]'nin araştırmalarında ise yangın felaketiyle ilgili bir mimari önerilmiştir. Burada IoT ortamı için esnek ve elverişli ağ mimarilerinden biri olan Named Data Networking (NDN) kullanılmıştır. Planlanan yapı, akıllı kent ve akıllı bina gibi çeşitli ortamlara uyarlanabilir özelliktedir. Sistemin yayılma ve iletim gecikmesi ile ilgili metrikleri ölçüldüğünde bunların literatürdeki örneklere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Sonwane [26]'in çalışmasında özellikle bulunan bölgeye aşına olmayan, güvenli alan veya barınak bulmakta zorlanan turistler için konum bazlı bir afet yönetim ve tahliye sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde Google firmasının ücretsiz sunduğu, çevrimiçi harita hizmeti veren Google Maps uygulaması çalışmaktadır. Uygulama, Android işletim sistemine sahip akıllı telefonlara yüklenerek kullanıcının afetten etkilenen bölgede veya o civarlarda olması durumunda uyarı vermektedir. Tahliye adımı için haritada en yakın güvenli bölgeleri ve sığınakları göstermektedir. Uygulamayı kullananların ailelerine de metin mesajı iletilmektedir.

Raj ve Sasipraba [27]'nin çalışmalarında ise deprem, kasırga, sel ve tsunami gibi afetlerin üstesinden gelmek için CBS web servislerine dayalı, mobil ortama uyarlanabilen bir afet yönetim sistemi hazırlanmıştır. Genel olarak web servis farklı platformlar arasındaki

verilerin ortak bir formata dönüştürülmesi için kullanılan ve HTTP protokolü aracılığıyla iletişim sağlayan yazılımı ifade etmektedir. Tasarlanan sistemde afetten etkilenen bölgelere ulaşmak için olası yollar belirlenirken CBS web hizmetleri kullanılmaktadır. Sistemde ambulans, itfaiye ve polis hizmetleri bulunmaktadır. Bu doğrultuda GIS web servisleri kullanılmış ve web programlamada yer alan AJAX (Asynchronous JavaScript ve XML) yaklaşımı aracılığıyla konum verileri haritaya entegre edilmiştir. Çalışmada AJAX ve CBS sayesinde harita ve konum bağlantılı veriler istemci tarafın tarayıcısına hemen yüklenmiştir. Bu durum klasik CBS-harita entegrasyon problemini ortadan kaldırmıştır.

Afet yönetim sistemini afet azaltma ve kurtarma operasyonu olarak ikiye ayıran Saha ve Matsumoto [28]'nin çalışmalarında her iki alt sistemi dikkate alan bir düzen sunulmuştur. Afet azaltma işleminde daraltılmış baz istasyonundan en yakın baz istasyonlarına veri iletiminin sağlanması için hücre sınırlarına statik bir tasarsız yedek istasyon (Ad hoc Relay Station) yerleştirilmiştir. Kurtarma işlemi için de bir kablosuz algılayıcı ağ protokolü önerilmiştir. Burada verilerin yayılımı için açışal mesafenin kullanıldığı çok atlamalı bir işleyiş gerçekleştirilmiştir.

Doğal afetlerin çok fazla görüldüğü Filipinler için afetten etkilenen bölgelere etkin kurtarma ve yardım sağlanmasına yardımcı olacak bir sistem geliştiren Fajardo ve Oppus [29]'un çalışmalarında yardım ekiplerindeki kişilerin en fazla sayıda insana hizmet verebilmeleri ve bu konuyla bağlantılı olarak afet bölgesinde en kısa sürede en büyük kapsama alanını gerçekleştirmeleri için izlenmesi gereken optimum yol hesaplanmıştır. Optimizasyon adımıda genetik algoritmanın kullanıldığı bu afet yönetim sistemi, Android işletim sistemi üzerinde tasarlanmıştır. Klasik ağ problemleri arasında yer alan gezgin satıcı modelindeki şehirlere karşılık burada coğrafi konumlar, satıcılara karşılık da yardım ekiplerindeki kişiler düşünülerek bulunabilecek en optimum yol elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece zamanın hayati öneme sahip olduğu afet durumlarında bu uygulama ile hızlıca yardım gönderme durumu sağlanmış olmaktadır.

Badpa ve ark. [30]'nın çalışmalarında özellikle İran'daki depremlere dayanarak bir ağ sistemi önerilmiştir. Bu sistemde temel amaçlar, enkaz altında kalanların tespit edilmesi ve afet yönetim sürecinin hızlandırılmasıdır. Kullanılan teknolojiler arasında veri tabanı yönetim sistemi olarak Oracle ve kablosuz veri iletim sağlayıcısı olarak Radyo Frekanslı Tanımlama Sistemi (RFID) bulunmaktadır. RFID en genel biçimiyle barkod

tarayıcılara alternatif olarak yer alan ve radyo dalgası kullanılarak anten, okuyucu, etiket bileşenleriyle veri iletişimini gerçekleştiren bir mekanizmadır. Badpa ve ark. [30]'nın RFID'yi kullanma amaçları, afetzedeleri ve yardım ihtiyacını belirlemektir. RFID sisteminin doğru şekilde uygulanması, afet yönetim merkezine yerleştirilen ve özel bir ağ ile bağlanan veri tabanı ile desteklenmiştir. RFID teknolojisinin temel alındığı çalışmada afet yönetimindeki zamanlama aşamaları afet öncesi, afet sırası ve afet sonrası olmak üzere üç adımda incelenmiştir. Afet öncesinde afetin önlenmesi ile ilgili yöneticilere bilgi akışı yapılarak onların yerinde ve zamanında karar almaları hedeflenmektedir. Afet sırasında afetin derecesi ve derinliği gibi gerekli bilgiler doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilmektedir. Afet sonrasında ise depremedelerin yeri tam olarak tespit edilmektedir.

Son olarak ele alınan Bhattacharya ve ark. [31]'nin çalışmalarındaki temel amaç, İnternet-SMS tabanlı bir coğrafi tehlike uyarı iletişim sistemi geliştirmektir. Mevcut iletişim sistemlerini tamamlayıcı özellikte olan bu sistemde mobil bilgi ve iletişim teknolojisi ile güvenilir ve etkin çözüm ön plandadır. Sistem dört fonksiyonel modülü içermektedir. Bunlar veri tabanı modülü, web içerik işleyici modülü, tetik modülü ve iletişim modülü olarak belirtilmektedir. Veri tabanında abone verileri ve tehlike mesaj bilgileri ile ilgili başlıca nitelikler bulunmaktadır. Web içerik işleyicisi HTTP paketlerini oluşturmaktadır. Tetik modülü, paketin tehdit seviyesine göre uyarı frekansını yani sıklığını haberleşme modülüne bildirmektedir. İletişim modülü ise SMS gönderimini sağlayarak uyarı bilgilerini kullanıcılara yaymaktadır. Buradaki mesaj sayısı çok fazla ise yerel mobil operatörün toplu SMS servisi kullanılabilir. Uygulama kolay kullanıma sahip, modüler, taşınabilir ve platformdan bağımsız bir yapıya sahiptir. Modüler olması nedeniyle çeşitli afet türlerindeki tehlike değerlendirme sistemleriyle uyumludur. Ticari şekle getirildiği zaman afet yönetimine destek bir sistem haline gelebilecek bir yapıdadır.

Bunların dışında Lee ve ark. [32], Erdelj ve ark. [33], Şentürk ve Erener [34], Ali ve ark. [35], Çolak ve Sunar [36], Tsai ve ark. [37], Franchi ve ark. [38], Küçük ve ark. [39], Cheikhrouhou ve ark. [40], Nyimbili ve Erden [41], Beltran Jr. ve ark. [42]'nin hazırladıkları çalışmalar da afet yönetim sistemleriyle ilgili ek inceleme yapılabilecek kaynaklardır. Bu bölüm içerisinde belirtilmiş olan ve son yıllara ait afet yönetim sistemleri ile ilgili çalışmalar Tablo 1'de yıllara göre sıralanarak özetlenmektedir.

Tablo 1. Afet yönetim sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalar

Kaynakça Numarası	Yayın Yılı	Afet Çeşidi	Kullanılan Araç/Metot	Amaç
[19]	2005	Deprem, sel, kasırga, heyelan, yangın, kirlilik, savaş	Afet yönetim sistemi tarafından küçük uydu verilerinin kullanılması için bir çerçeve	Afet yönetim bilgi sistemlerinin gerçek zamanlı veri ihtiyacını küçük uydularla sağlamak
[28]	2007	Deprem, tsunami	Hücre sel iletişimde statik tasarsız yedek istasyon ve kablosuz algılayıcı ağ protokolü	Afet hafifletme ve afet sonrası kurtarma operasyonları için veri toplamak ve yaymak
[27]	2010	Tsunami, sel, deprem, kasırga	AJAX ve CBS web servisine dayalı afet yönetim sistemi	Önerilen afet yönetim sistemi ile etkilenen alanları ve konuma ulaşmak için olası yolları belirlemek için CBS web hizmetleriyle birleştirmek
[29]	2010	Filipinler'deki doğal afetler	Android tabanlı bir afet yönetim sistemi, genetik algoritma	En fazla sayıda afetzedeye, en kısa sürede, en geniş kapsama hizmeti ile yardım sağlanması için optimum yolu hesaplamak
[31]	2011	Kasırga	İnternet-SMS tabanlı bir coğrafi tehlike uyarı iletişim sistemi	Cep telefonları aracılığıyla insanları etkili şekilde uyararak ve tehlike mesajlarını geniş bölgelerdeki kullanıcılara iletmek
[1]	2012	Doğal afetler	İHA olarak Air Robot quadrotor helikopterleri	Afet zamanında binaların, güç sistemlerinin ve antenlerin çökmesi nedeniyle bir iletişim altyapısı oluşturmak için İHA'ları kullanmak
[18]	2013	Tsunami, deprem	Gerçek zamanlı GPS	Deprem büyüklüğünü neredeyse gerçek zamanlı olarak gözlemlemek ve aynı anda tsunami uyarı seviyelerini erken hesaplamak
[23]	2013	Tsunami, deprem	Twitter tabanlı afet uyarı sistemi	Twitter'ı afetler sırasında geleneksel iletişim kanalları yerine alternatif olarak kullanmak
[30]	2013	Deprem	Özel bir ağ sisteminde Oracle ile koordinasyon içinde kullanılan RFID	Depremden sonra enkazın altındaki kişilerin tespit edilebileceği kesin ve verimli bir tanımlama sistemini oluşturmak
[17]	2014	Deprem	ZigBee kablosuz ağ sistemi ve CBS	Afet bölgelerinde hızlı bir şekilde geçici bir iletişim ağını inşa etmek
[22]	2014	Doğal afetler	Bulut özellikli araç acil müdahale sistemi	Acil durumlarda ulaşım tahyisini gerçekleştirmek
[26]	2014	Tsunami, sel	Android'de GoogleMap tabanlı afet yönetim sistemi ve tahliye sistemi	Afetlerden önce özellikle turistler tarafından güvenli yer ve barınak bulunmasını sağlamak
[24]	2016	Doğal afetler	IoT ortamında mikro denetleyici özellikli algılayıcılar, aktüatörler, Wi-Fi alıcı-verici modülü	IoT özellikli sistemlerde kullanılan düşük maliyetli bir modülün donanımını tasarlamak ve bu modülü Akıllı Şehir İzleme ve Afet Yönetimi için kullanmak
[32]	2016	Deprem, yangın	Drone destekli afet yönetim sistemi	Doğal afetlerden kurtulanları tespit etmek ve haritalama görevi için drone donanımını içeren bir mimari tasarlamak
[20]	2017	Tsunami, tayfun, deprem, heyelan	GeoServer, OpenLayers, Cordova ve JQuery Mobile gibi açık kaynak ve ücretsiz yazılımlar	Mobil tabanlı afet yönetimi çözümlerinde ilk kez yerel ve web uygulama teknolojilerinin bir kombinasyonunu kullanarak bir mobil afet yönetim sistemini oluşturmak
[33]	2017	Deprem, sel, kuraklık, yangın	İHA destekli etkili afet yönetimi için uygun ağ mimarileri	Afet yönetimine ağ destekli ilk müdahale için İHA'lardaki en son gelişmeleri gözden geçirmek ve çözülmesi gereken açık sorunları tanımlamak
[34]	2017	Deprem	CBS'ye dayalı çok kriterli karar analiz yöntemi	Afet yönetimi için en uygun geçici barınma alanlarını belirlemek
[25]	2018	Yangın, deprem, sel	NDN tabanlı IoT DMS (yangın felaketi) mimarisi	NDN mimarisini IoT için IP tabanlı yaklaşımlarla karşılaştırmak
[35]	2018	Tsunami, deprem, sel, sağanak yağışlar	Cihazdan Cihaza (D2D) iletişim	Bir doğal afet olayında hasar gören hücre sel ağlara alternatif erişimi sağlayan bir D2D iletişim mimarisini tasarlamak
[36]	2018	Yangın	Sentinel 2A ve Landsat 8 uydu görüntülerinin CBS verilerinin entegrasyonu ile orman yangını geçiren alanların haritalandırılması	İzmir'in Menderes bölgesinde meydana gelen orman yangınının çevresel sonuçlarını ve etkilerini araştırmak
[37]	2019	Sel, tsunami	Sezgisel bir mobil cihaz tabanlı kullanıcı arayüzüne sahip bir chatbot sistemi	Afetle ilgili verilerin karmaşıklığının üstesinden gelmek
[38]	2019	Deprem	Yapısal sağlık izleme ve deprem erken uyarı yönlerine odaklanan, dikey olarak entegre edilmiş 5G tabanlı bir afet yönetim sistemi	Bir sismik bölgedeki binaların durumunu izlemek ve deprem erken uyarısını yapmak
[39]	2019	Deprem	IoT tabanlı afet yönetim sistemi	Afet sonrası afet bölgesi hakkında bina hasar durumu ve afet bölgesindeki insan yoğunluğu bilgilerini hızlı ve etkin biçimde elde etmek
[2]	2020	Doğal afetler	Anket	Karmaşık ve öngörülemeyen afetlerle başa çıkmak için iletişim kanalı teknolojisini potansiyelini daha fazla geliştirmek ve kullanmak
[40]	2020	Doğal afetler	Bulut ağ, kablosuz algılayıcı düğümler, XML	Kurtarma ekiplerinin gerçek acil durumlarda uygulanmadan önce çeşitli kurtarma planlarını geliştirmeleri için sanal bir eğitim ortamını hazırlamak
[41]	2020	Yangın	Analitik Hiyerarşik Sürecin (AHP) Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yönteminin bulanık uzantısının kullanımı	Yeni itfaiye istasyonlarının en uygun şekilde konumlandırılmasına yönelik bir model sağlamak
[21]	2021	Deprem	LoRaWAN temelli LoRaMoto sistemi	Sivilin güvenlikleri hakkında aileleri ve arkadaşları ile, ayrıca bir deprem sonrasında ilk müdahale ekipleriyle bilgi alışverişinde bulunmalarına yardımcı olmak
[42]	2021	Sel, heyelan, tsunami, tayfun	Arduino mikrodenetleyici, C programlama dili	Sıcaklık, toprak kayması, ivmeölçer, eğim ve yağmur sensöründen oluşan bir afet yönetim cihazı ile kullanıcıları bilgilendirmek

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye’de ve tüm dünyada hayatı olumsuz anlamda etkileyen afet durumları önlenemez olsa da bunların etkileri çeşitli uygulamalar sayesinde azaltılabilmektedir. Teknolojideki hızlı ilerlemenin hayatın her alanına olduğu gibi bu konuya da faydaları bulunmaktadır. Özellikle afetlerden önce uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, afet zamanlarında yardım ekiplerinin etkin koordinasyonu için iletişim sistemlerinin güçlendirilmesi, herhangi bir iletişim altyapısında bozukluk olmaması için önceden gerekli ekipmanın sağlanması ve özellikle kablosuz sistemlerin kullanılabilirliğinin geliştirilmesi gerekmektedir. Afet sonrası için de yine gerekli hizmetlerin eksiksiz sağlanması amacıyla iletişim bağlantılarının kuvvetli olması önemlidir. Burada görüldüğü gibi afetlerin başından sonuna kadar tüm aşamalarda afet yönetimi için oluşturulan ekipman düzeneğinin ve oluşturulan ağın önemi çok büyüktür. Bu amaçla kullanılan pek çok farklı cihaz vardır. Bunlar arasında uydular, algılayıcılar, mobil cihazlar ve baz istasyonları gibi örnekler mevcuttur. Bu çalışmada çeşitli hedefler için kullanılan teknolojik yapılar ve afet uyarı sistemleri başta olmak üzere bazı gelişmeler incelenmiştir. Literatürde konuyla ilgili son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar analiz edilerek konuyla ilgili bir derleme hazırlanmıştır. Burada yeni gelişmelerden, özellikle bilgisayar ağları disiplini açısından konu anlatımı yapılarak farklı bilim alanlarına da hitap eden bir içerik sunulması hedeflenmiştir. Böylece ileride yapılabilecek disiplinler arası çalışmalar için bir kaynak oluşturulması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Tuna G, Mumcu TV, Gulez K. Design strategies of unmanned aerial vehicle-aided communication for disaster recovery, Proceedings High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies, IEEE, Istanbul, Turkey; 2012. p. 115-119.
- [2] Yulianto E, Utari P, Satyawan IA. Communication technology support in disaster-prone areas: Case study of earthquake, tsunami and liquefaction in Palu, Indonesia. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020; 45(101457): 1-8.
- [3] Jahir Y, Atiquzzaman M, Refai H, Paranjothi A, LoPresti PG. Routing protocols and architecture for disaster area network: A survey. Ad Hoc Networks. 2019; 82: 1-14.
- [4] Stute M, Maass M, Schons T, Kaufhold MA, Reuter C, Hollick. Empirical insights for designing information and communication technology for international disaster response. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2020;47(101598):1-10.
- [5] Choy S, Handmer J, Whittaker J, Shinohara Y, Hatori T, Kohtake N. Application of satellite navigation system for emergency warning and alerting. Computers, Environment and Urban Systems. 2016;58:12-18.
- [6] Seba A, Nouali-Taboudjemat N, Badache N, Seba H. A review on security challenges of wireless communications in disaster emergency response and crisis management situations. Journal of Network and Computer Applications. 2019;126:150-161.
- [7] Cospas-Sarsat [Internet]; 2021. International satellite system for search and rescue. International Cospas-Sarsat Programme. Available from: <https://www.cospas-sarsat.int/en/>
- [8] Bahrepor M, Meratnia N, Poel M, Taghikhaki Z, Havinga PJM. Distributed event detection in wireless sensor networks for disaster management. Proceedings International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems, IEEE, Thessaloniki, Greece; 2010. p. 507-512.
- [9] Tuna G, Nefzi B, Conte G. Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster recovery. Journal of Network and Computer Applications. 2014;41(1):27-36.
- [10] Noguchi S. The design principle of the robust communication system under the great disaster environment. In 2012 IEEE 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. IEEE, Fukuoka, Japan; 2012. p. 1-4.
- [11] Hussain S, Nisar A, Khazai, B, Dellow G. The Kashmir earthquake of October 8, 2005: impacts in Pakistan. Earthquake Engineering Research Institute Special Paper. 2006;8.
- [12] Edtel D. Earthquakes Death Toll Event Location. The Worst Natural Disasters by Death Toll. 2007.
- [13] TABB (Türkiye Afet Bilgi Bankası - Turkey Disaster Information Bank) Projesi, AFAD-T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/tabb-turkiye-afet-bilgi-bankasi>
- [14] Öcal A. Natural disasters in Turkey: Social and economic perspective. International Journal of Disaster Risk Management. 2019;1(1): 51-61.
- [15] Ali K, Nguyen HX, Vien QT, Shah P. Disaster management communication networks: Challenges and architecture design. In 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), IEEE, St. Louis, MO, USA, 2015. p. 537-542.
- [16] Nakamura D, Uchida N, Asahi H, Takahata K, Hashimoto K, Shibata Y. Wide area disaster information network and its resource management system. Proceedings 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Xi'an, China, AINA; 2003. p. 146-149.
- [17] Kawamura Y, Dewan AM, Veenendaal B, Hayashi M, Shibuya T, Kitahara I, Nobuhara H, Ishii K. Using GIS to develop a mobile communications network for disaster-damaged areas. International Journal of Digital Earth. 2014;7:279-293.
- [18] Hoechner A, Ge M, Babeyko AY, Sobolev SV. Instant tsunami early warning based on real-time GPS-Tohoku 2011 case study. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2013;13:1285-1292.
- [19] Albayrak O. Small satellite utilization for disaster management information systems, Small Satellites for Earth Observation: Selected Proceedings of the

- 5th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin. April 4-8 2005, Walter de Gruyter; 2011. p. 52-460.
- [20] He Y, Zhang D, Fang, Y. Development of a mobile post-disaster management system using free and open source technologies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2017;25:101-110.
- [21] Centelles RP, Meseguer R, Freitag F, Navarro L, Ochoa SF, Santos RM. LoRaMoto: A communication system to provide safety awareness among civilians after an earthquake. *Future Generation Computer Systems*. 2021;115:150-170.
- [22] Alazawi Z, Alani O, Abdjabar MB, Mehmood R. An intelligent disaster management system based evacuation strategies. In 2014 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP), Manchester, UK; 2014. p. 673-678.
- [23] Chatfield AT, Brajawidagda U. Twitter early tsunami warning system: A case study in Indonesia's natural disaster management. In 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences, Wailea, HI, USA; 2013. p. 2050-2060.
- [24] Sakhardande P, Hanagal S, Kulkarni S. Design of disaster management system using IoT based interconnected network with smart city monitoring. In 2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA), Pune, India; 2016. p.185-190.
- [25] Hannan A, Arshad S, Azam MA, Loo J, Ahmed SH, Majeed MF, Shah SC. Disaster management system aided by named data network of things: Architecture, design, and analysis. *Sensors (Basel)*. 2018;18(8):2431.
- [26] Sonwane VS. Disaster management system on mobile phones using google map. *International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*. 2014; 5(5): 6760-6763.
- [27] Raj RJR, Sasipraba T. Disaster management system based on GIS web services. In *Recent Advances in Space Technology Services and Climate Change 2010 (RSTS & CC-2010)*, Chennai, India. 2010; 252-261.
- [28] Saha S, Matsumoto M. A framework for disaster management system and WSN protocol for rescue operation. In *TENCON 2007-2007 IEEE Region 10 Conference*, Taipei, Taiwan, 2007. p. 1-4.
- [29] Fajardo JTB, Oppus CM. A mobile disaster management system using the android technology. *WSEAS Transactions on Communications*. 2010;9(6):343-353.
- [30] Badpa A, Yavar B, Shakiba M, Singh MJ. Effects of knowledge management system in disaster management through RFID technology realization. *Procedia Technology*. 2013;11:785-793.
- [31] Bhattacharya D, Ghosh JK, Boccardo P, Samadhiya NK. Wireless hazard communication system, *Journal of Systems and Information Technology*. 2011;13(4):408-424.
- [32] Lee S, Har D, Kum D. Drone-assisted disaster management: Finding victims via infrared camera and lidar sensor fusion. In: 2016 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE). Nadi, Fiji, IEEE; 2016. p. 84-89.
- [33] Erdelj M, Natalizio E, Chowdhury KR, Akyildiz IF. Help from the sky: Leveraging UAVs for disaster management. *IEEE Pervasive Computing*. 2017;16(1), 24-32.
- [34] Şentürk E, Erener A. Determination of temporary shelter areas in natural disasters by gis: A case study, Gölcük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*. 2017; 2(3):84-90.
- [35] Ali K, Nguyen HX, Vien QT, Shah P, Chu Z. Disaster management using D2D communication with power transfer and clustering techniques. *IEEE Access*, 2018(6):14643-14654.
- [36] Çolak E, Sunar AF. Remote sensing & GIS integration for monitoring the areas affected by forest fires: A case study in Izmir, Turkey. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 2018;(42):165-170.
- [37] Tsai MH, Chen JY, Kang SC. Ask Diana: A keyword-based chatbot system for water-related disaster management. *Water*. 2019; 11(2):234.
- [38] Franchi F, Marotta A, Rinaldi C, Graziosi F, D'Errico L. IoT-based disaster management system on 5G uRLLC network. In 2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management, IEEE. (ICT-DM). 2019. p. 1-4.
- [39] Küçük K, Bayılmış C, Sönmez AF, Kaçar S. IoT teknolojilerini kullanan afet sonrası yönetim sistemi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*. 2019;7(2): 298-305.
- [40] Cheikhrouhou O, Koubaa A, Zarrad A. A cloud based disaster management system. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2020;9(1):6.
- [41] Nyimbili PH, Erden T. GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2020;(71):100860.
- [42] Beltran Jr AA, Dizon KJT, Nones KC, Salanguit RLM, Santos JBD, Santos JRG. Arduino-based disaster management system. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2021;2(1):24-28.