

Afetlerde Aydınlatma, Haberleşme ve Enerji İhtiyacının Tek Noktadan Karşlanması için Şebeke ve Direk Tasarımı

Levent Aksoy¹, İlknur Yardımcı Coşkun^{2,*}

¹Bahçeşehir Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Lojistik Yönetimi, 34353, İstanbul.

²Maltepe Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik, 34857, İstanbul.

Özet

Afetlerin ardından, afetzedeler acil maddi ve tıbbi yardımın ötesine geçen çok sayıda ihtiyaçla karşı karşıyadır. Bununla birlikte nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde afet sonrası müdahale süresi uzamaktadır. Artan nüfus ve kentleşme, afetlerin etkilerini daha da artırmakta ve müdahale planlarının daha karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bu sebeple kentler afet sonrası aydınlatma, haberleşme, enerji gibi temel gereksinimleri kendi kendilerine karşılayabilecekleri şekilde donatılmalıdır. Afetlerde aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyaçlarının tek bir kaynaktan karşılanması, enerji verimliliği ve sağlam altyapı çözümleri gerektiren çok disiplinli bir yaklaşıma dayanır. Afet sonrası süreçlerin hızla ve etkili bir şekilde yürütülebilmesi, bu hizmetlerin kesintisiz devamına bağlıdır. Bu çalışmada, sistematik bir literatür taraması sonucunda, mühendislik tasarımı yöntemi ile çok fonksiyonlu bir direk tasarımı geliştirilmiş ve matematiksel modelleme ile sistemin kapasite ve diğer parametreleri değerlendirilmiştir. Bu hibrit direk, afetlerde aydınlatma, enerji ve haberleşme hizmetlerini bir arada sunan bir ağ yapısına sahiptir. Direk, farklı enerji üretim yöntemleri, veri aktarım seçenekleri, kablosuz erişim noktası, mobil şarj noktaları, sensörler ve IoT cihazları gibi donanımları entegre eder. Bu tasarımın, afet anında ve sonrasında afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamada önemli bir rol oynaması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler

Afet Yönetimi, Afetlerde Mobil İletişim ve Güç Sistemleri, Entegre Direk Tasarımı, Enerji Sistemleri, Haberleşme Sistemleri, Yenilenebilir Enerji

Design of Network and Pole for Meeting Lighting, Communication, and Energy Needs from a Single Source in Disasters

Abstract

After disasters, survivors face numerous needs beyond immediate material and medical aid. However, in densely populated cities, post-disaster response times are prolonged. Growing urbanization and population increase the impact of disasters and complicate response plans. Therefore, cities should be equipped to meet essential post-disaster needs, such as lighting, communication, and energy, autonomously. Addressing lighting, communication, and energy needs from a single source in disasters requires a multidisciplinary approach that involves energy efficiency and robust infrastructure solutions. The swift and effective management of post-disaster processes depends on the uninterrupted continuation of these services. In this study, following a systematic literature review, a multifunctional pole design was developed using engineering design methods, and the system's capacity and other parameters were evaluated through mathematical modeling. This hybrid pole provides a network structure offering integrated lighting, energy, and communication services during and after disasters. The pole incorporates various energy generation methods, data transmission options, wireless access points, mobile charging stations, sensors, and IoT devices. This design is expected to play a crucial role in meeting the basic needs of disaster survivors both during and after a disaster.

Keywords

Disaster Management, Mobile Communication and Power Systems in Disasters, Integrated Pole Design, Energy Systems, Communication Systems, Renewable Energy

1. Giriş

Afet sonrası hazırlıklar, afetlerin hem bireyler hem de altyapı üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için çok önemlidir. Bu hazırlıklar, dayanıklılığı artıran ve iyileşmeyi kolaylaştıran önlemlerin stratejik planlanmasını ve uygulanmasını içerir (Jia vd., 2023). Bir felaketten sonra kalabalık şehirlerde kendi kendine yeterlilik, gıda, iletişim ve altyapı gibi temel kaynaklara erişimin sağlanmasını içeren çok yönlü bir zorluktur (Flikkema & Hayes, 2017).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), İstanbul Planlama Ajansı (İPA), 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş ve Hatay'da meydana gelen depremler sonrasında 25 Şubat 2023 tarihinde bir çalıştay düzenlemiştir. Bu çalışmanın sonuçları İstanbul Deprem Çalışma Grubu Toplantısı Özet Raporu olarak yayınlanmıştır ([İstanbul Planlama Ajansı, 2023](#)). Bu çalıştayda 7 çalışma grubu oluşturulmuş ve ilgili boyutlar incelenmiştir. Bunlardan Lojistik Boyut kapsamında Enerji ve İletişim başlıkları da incelenmiştir. Çalışmada afet sonrasında meydana gelecek geniş enerji ve iletişim kesintileri, bu kesintilerin doğuracağı yaşamsal sorunlar, enerji ve iletişimin sürekliliğinin sağlanmasının önemi belirtilmiştir ([İstanbul Planlama Ajansı, 2023](#)). Afetlerde enerji ve iletişim konusunda hayati sorunların yaşanma olasılığı ve bunlara karşı tedbir alınması gereği daha önce yapılan çalışmalarda da ifade edilmiştir.

İPA raporunun kendisinde enerji ve iletişim başlıklarının bir arada ele alınması gereği açıkça belirtilmiş olmakla beraber (s.35) yine de ayrı olarak ele alınmışlardır. Raporda belirtilen çözüm önerilerinin bazıları (sağlık tesislerine öncelik verilmesi gibi) çok genel, bazıları ise (İstanbul ve çevre iller için jeneratör envanteri oluşturulması gibi) çok detaylı belirtilmiştir. Ancak öneriler, stratejik yönetimin öngördüğü stratejik amaç, hedef, faaliyet hiyerarşik yapısından ne yazık ki çok uzaktır.

Aydınlatma, afet senaryolarında çok önemli bir rol oynar ve tahliye, iletişim ve güvenlik için gerekli görünürlüğü sağlar ([Takano vd., 2021](#); [Akizuki vd., 2023](#)). Afetlerde etkili aydınlatma sistemlerine duyulan ihtiyaç, güvenliğin sağlanmasında ve acil müdahalelerin kolaylaştırılmasında önem arz etmektedir ([Kobayashi & Kakudate, 2014](#)). Afetler sırasında ve sonrasında etkili haberleşme, zararı en aza indirmek ve verimli müdahale ve kurtarma çabalarını sağlamak için çok önemlidir ([Tan & Hao, 2022](#)). Afet senaryolarının karmaşıklığı, çeşitli paydaşları ve stratejileri içeren çok yönlü bir iletişim yaklaşımını gerektirir ([Smith vd., 2024](#)).

Afet senaryolarında, etkili yardım operasyonlarının sağlanması ve temel hizmetlerin sürdürülmesi için enerji ihtiyaçları kritik öneme sahiptir. Afetler genellikle enerji kesintilerine yol açarak insani operasyonları desteklemek için dayanıklı enerji sistemlerini gerektirir ([Minguito & Banluta, 2023](#)). Enerji erişimi, kriz durumlarında geçim kaynaklarının sürdürülmesi için çok önemli olan fiziksel sermayenin temel bir bileşenidir ([Kuang vd., 2023](#)). Afet sonrası kullanılabilir olan bölgelerde enerji temiz su, sanitasyon, sağlık ve iletişim hizmetleri için gereklidir ([Thulstrup & Joshi, 2017](#)).

Yazar tarafından belirlenmiş olan İPA hedeflerinden ve aydınlatma, enerji ve haberleşme ihtiyacını tek nokta üzerinden karşılayacak olan "Aydınlatma direkleri üzerinden hizmet verecek açık bir Wi-Fi şebekesinin geliştirilmesi aynı zamanda vatandaşların telefon ile iletişim faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için aydınlatma direklerinin birer telefon şarj noktası haline getirilmesi" önerisi ([İstanbul Planlama Ajansı, 2023](#)) bu makalenin motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek üzere öncelikli olarak sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Sonrasında mühendislik tasarımı ile sistemin bileşenleri alternatifleri ile oluşturulmuş ve matematiksel modelleme ile sistemin kapasite ve diğer parametreleri değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, afet sonrası süreçlerde aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyaçlarının tek bir kaynaktan karşılanmasını hedefleyen çok fonksiyonlu bir direk tasarımı, güç üretim ve aktarımı da içeren bir şebeke tasarımını önererek literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Literatürde, bu tür temel ihtiyaçları bireysel olarak ele alan çalışmalar bulunmasına rağmen, bu ihtiyaçları bütünsel bir çözümle karşılayan bir ağ tasarımı eksikliği olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamız, modüler ve enerji verimli bir tasarım sunarak afet yönetimi alanında yenilikçi bir altyapı modeli geliştirmiştir. Bu model, farklı enerji üretim yöntemlerini (örneğin, güneş ve rüzgâr enerjisi), kablosuz iletişim teknolojilerini ve veri aktarım bileşenlerini bir araya getirerek, afet sonrası süreçlerde dayanıklılığı artıracak ve müdahaleleri hızlandıracak bir sistem sunmaktadır.

Ayrıca, önerilen sistem, gerçek dünya senaryolarında uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği açısından değerlendirilmektedir. Afet parkları, toplanma alanları ve güvenli yol hatları gibi kritik bölgelerde kullanılabilirliği, bu çalışmayı hem pratik hem de teorik katkılar açısından değerli kılmaktadır. Bu bağlamda, çalışma afet yönetimi literatürüne çok disiplinli bir perspektif sunmaktadır.

1.1. Literatür Analizi

Afetlerde aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyacının tek noktadan karşılanması için şebeke ve direk tasarımı konusunda literatürde yer alan çalışmalarını incelemek için sistematik literatür taraması yöntemi ile Tablo 1'de yer alan anahtar sözcükler veri tabanlarında yıl sınırlaması olmaksızın incelenmiştir. İnceleme sonrası aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyacı için ayrı ayrı çözümler üreten çalışmalar olduğu tespit edilmiş olup (Tablo 2), tek noktadan tüm bu ihtiyaçların karşılanması için şebeke ve direk tasarımına ilişkin yeterli sayıda çalışmaya rastlanmamıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalarda akıllı şehir çalışmaları kapsamında çeşitli direkler mevcut olup, afet sonrası şebeke elektriğine bağlı çalışmaları sebebi ile dirençliliğini koruyamayacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın özgün yanı, afet sonrasında yedeklenmiş enerji kaynaklarıyla desteklenen ve ticari kaygılardan bağımsız olarak kullanılabilecek bir çözüm önerisi sunmasıdır. Bu amaçla, mevcut teknolojilerin adaptasyonu yoluyla afet sonrası süreç yönetimine özgün bir çözüm önerilmektedir.

Tablo 1: Sistematik literatür taramasında kullanılan anahtar kelimeler ve veri tabanları

Anahtar Kelimeler	Veri Tabanları
- Afet Dayanıklı Altyapı Tasarımı - Çok Fonksiyonlu Direk Tasarımı - Afet Durumunda Enerji ve İletişim Sistemleri - Afet Yönetiminde Entegre Aydınlatma ve İletişim - Tek Noktadan Enerji ve Haberleşme Çözümleri - Afet Senaryoları İçin Akıllı Direkler - Afet Müdahalesi İçin Şebeke Tasarımı - Afetlerde Mobil İletişim ve Güç Sistemleri	- DergiPark Akademik (TUBİTAK) - Ebsco - Elsevier eBooks - Emerald Insight (Dergiler) - Google Scholar - IEEE Xplore Digital Library (Dergiler, bildiriler, standartlar) - PlumX Metrics - ProQuest Dissertations and Theses Global - ProQuest Ebook Central - Scopus (Elsevier endeksi/özet veri tabanı) - Springer E-Books - Taylor & Francis Online - Web of Science

Tablo 2: Literatürde yer alan çalışmalar

Yazar/Yıl	Çalışma Özeti
Helal & Puckeridge (1990)	Çalışma merkezi bir izleme ve kontrol ünitesi, tek noktalı aydınlatma üniteleri ve döngü topolojisine sahip bir iletişim sistemi içeren bir acil durum aydınlatma sistemini tartışmaktadır.
Aljada vd. (2006)	Makale, bir felaketin neden olduğu iletişim ağı tesislerinde kısmi hasar olması durumunda kolayca kurulacak şekilde tasarlanmış, tamamen optik bir merkezi ünite ve optik alıcı-vericiler kullanan bir optik kablosuz iletişim sistemi mimarisi önermektedir.
Saha vd. (2012)	Makale, felaket sonrası iletişim için dört katmanlı planlı bir hibrit mimari önermektedir.
Ngo vd. (2014)	Makale, sınırlı spektrum ve enerji kaynaklarına sahip afetle etkilenen alanlarda iletişim hizmetleri sağlamada hareketli ve dağıtılabilir bir kaynak birimi (MDRU) tabanlı bir ağın uygulanmasını tartışmaktadır.
Ali vd. (2015)	Makale, afetler sırasında etkili iletişimi sağlamak için mevcut altyapıyı pekiştirme teknikleri ve bulut işleme konseptleriyle bütünleştiren bir ağ mimarisi tasarımı önermektedir.
Lee vd. (2015)	Makale, CFDP, BP ve LTP protokolleri ile gecikmeye dayanıklı ağ katmanını kullanarak ağ bağlantısının kesilmesine karşı bağışık olan bir acil durum ağı tasarımı önermektedir.
Austin vd. (2017)	Makale, afet yardım çabaları için hızla dağıtılabilir, ölçeklenebilir ve uygun maliyetli bir iletişim altyapısı oluşturmak için ölçeklenebilir konteynerli ağ hizmetleriyle birlikte düşük maliyetli Tek Kartlı Bilgisayarların, özellikle Raspberry Pi cihazlarının kullanılmasını önermektedir.
Dargahi vd. (2017)	Makale, afet sonrası iletişim altyapıları için tasarım yönergeleri önermekte ve bir çözüm olarak Araç Ad-hoc Network'leri (VANET'ler) kullanan esnek bir iletişim altyapısı sunmaktadır.
Ju vd. (2017)	Makale, felaket sonrası zaman dilimlerinde kritik yüklerin taleplerini karşılamak için elektrik ve termal güç üretmek için yerel kombine ısı ve güç (CHP) tesislerini kullanan birden fazla enerji hizmeti içeren radyal dağıtım sistemlerinde yük restorasyonu için bir yeniden yapılandırma modeli önermektedir.
Shah (2017)	Makale, iletişim yollarını kesintiye uğratan bir felaket durumunda verilerin hayatta kalmasını sağlamak için statik Rota ve Dalga Boyu Atamasına (RWA) odaklanarak felakete dayanıklı veri merkezi WDM ağlarını tasarlamak için yeni bir yaklaşım sunmaktadır.
Wen vd. (2018)	Makale, dağıtım şebekesi hatlarındaki elektrik direği süspansiyon noktalarındaki kuvvet etkisini ve etki nedenlerini analiz ederek kutup kuvveti modelini (meteorolojik afetler için) incelemektedir.

Tablo 2'nin devamı

Yazar/Yıl	Çalışma Özeti
Hazra vd. (2019)	Makale, uçtan uca ağ gecikmesini en aza indirmek ve her barınak noktasına en az bir ağ kaynağı tarafından hizmet verilmesini sağlamak için sınırlı ağ kaynaklarını verimli bir şekilde tahsis etmeyi amaçlayan, kaynak kısıtlı felaket sonrası senaryolar için özel olarak tasarlanmış yeni bir ağ mimarisi önermektedir.
Shah vd. (2019)	Makale, enerji verimli ve bileşen arızalarına karşı sağlam olmayı amaçlayan SparseDRN adı verilen yeni bir Afet Müdahale Ağı (DRN) ağ topolojisi tasarlamaya odaklanmaktadır.
Hazra vd. (2020)	Makale, ağ kaynaklarının sınırlı olduğu afet sonrası durumlar için verimli bir iletişim altyapısı tasarlamaya odaklanmaktadır.
Manimegalai vd. (2022)	Makale, 5G ağlarında çift yönlü fiber üzerinden radyo (RoF) iletişimi için çift kaplamalı fiber (DCF) kullanan ve felaketlerin neden olduğu elektrik kesintileri sırasında hem çok bantlı veri sinyalleri hem de elektrik gücü sağlamayı amaçlayan bir fiber üzerinden güç (PoF) sistemini incelemektedir.
Xiao & Asiri (2022)	Makale, afet yardım senaryoları için düşük maliyetli, az bakım gerektiren kablosuz Serbest Alan Optik İletişim (FSOC) sistemleri geliştirmeye odaklanmaktadır.
Karaman vd. (2024)	Afet senaryolarında dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği artırmak için HAPS gibi iletişim teknolojilerini ve RES gibi enerji teknolojilerini kullanan entegre bir uzay-hava-yerdeniz ağ mimarisi önermektedir.
Noaman & El-Ghafour (2024)	Makale, afetlerden sonra zorluklarla karşılaşan evsiz nüfus için konforlu, sürdürülebilir ve geçici bir çözüm olarak enerji verimli konteyner evlerin (EECH'ler) uygulanmasını tartışmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın ilk adımı, afet sonrası ihtiyaçların ve müdahale süreçlerinin belirlenmesi için geniş kapsamlı bir literatür taramasıdır. İlgili literatür taraması, bilimsel makaleler, mühendislik raporları, afet yönetimi stratejileri ve enerji verimliliği konusundaki çalışmalar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Taramada, afet sonrası aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyaçlarına odaklanan mevcut sistemler incelenmiş ve bu sistemlerin eksiklikleri ile güçlü yönleri değerlendirilmiştir. Literatür taraması, çok disiplinli yaklaşımları ve mühendislik çözümlerini anlamak için kullanılmıştır. Literatür taramasından elde edilen bulgulara dayanarak, afet sonrası kullanılacak direğin tasarım kriterleri oluşturulmuştur. Bu kriterler şunlardır:

- Modülerlik: Direğin çok fonksiyonlu hizmetler (aydınlatma, enerji, haberleşme) sunabilmesi için modüler bir yapıda olması gerekmektedir.
- Enerji Verimliliği: Direğin enerji ihtiyacını karşılayacak sistemlerin enerji verimli olması ve alternatif enerji kaynaklarıyla (güneş, rüzgâr gibi) desteklenebilmesi önemli bir kriterdir.
- Dayanıklılık: Direğin afetlerdeki olumsuz koşullara dayanıklı olması, özellikle rüzgâr ve deprem gibi doğal afetlere karşı mukavemet göstermesi gerekmektedir.
- Kesintisiz Haberleşme: Afet sonrası iletişim ihtiyaçlarının karşılanması için, kesintisiz veri iletimi sağlayabilecek haberleşme altyapısının entegrasyonu gereklidir.
- Çok Fonksiyonlu Kullanım: Direk, aydınlatma, kablosuz internet erişimi, enerji üretimi ve mobil cihaz şarjı gibi çoklu hizmetleri tek bir noktadan sağlamalıdır.

İlk aşamada, mevcut direk tasarımlarına alternatif olarak, aydınlatma, haberleşme ve enerji gereksinimlerini karşılayabilecek bir direk tasarımının kavramsal modeli oluşturulmuştur. Kavramsal tasarım aşamasında, direğin fiziksel yapısı, yük taşıma kapasitesi ve modüler sistem entegrasyonu gibi temel bileşenler tasarlanmıştır. Kavramsal tasarımın ardından, Direğin performansını ve kapasitesini değerlendirmek amacıyla matematiksel modelleme yapılmıştır. Modelleme kapsamında yük kapasitesi, enerji üretimi ve tüketimi, veri iletim hızı parametreleri değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Yapılan analizler sonrası afet ortamlarında haberleşme ve mobil haberleşme, enerji, güvenilir, gürbüz ve dirençli sistem yapıları belirlenmiştir. Afet aydınlatma, enerji, haberleşme bütünsel ağı tasarımı gerçekleştirilerek kapasite ihtiyaçları hesaplanmıştır.

3.1. Afet Ortamlarında Haberleşme

Afetler gerçekleştiğinde haberleşmede yaygın kesintiler yaşanabilmektedir. Bunların sebeplerinden birincisi mevcut şebekelerin afet anında ve hemen sonrasında artan haberleşme ihtiyacının doğurduğu talebi karşılayamayarak kapasitelerinin doyumuna ulaşması ve sistemin çağrıları iletememesidir. Bu duruma ağ tıkanıklığı (network congestion) adı verilir (Al-Bahadili, 2012). Artan talep kaybolan veri paketlerinin oranının artmasına yol açar. Gönderilen paketler kaybolmaya başladığında bu paketler tekrar tekrar gönderilerek sorunu büyütür ve nihayetinde haberleşme etkin olarak durur.

İkinci sebep ise afet bölgelerinde fiziksel hasarlardan ve enerji kesintilerinden iletişim altyapısının etkilenmesidir. Örneğin uzun süreli elektrik kesilmesi, veri hatlarının kopması, yönlendirici ve sunucuların, anten ve benzeri ekipmanın hasar görmesi haberleşmenin kesilmesine yol açar. Bu iki sebebin (artan talep ve hasar) birleşmesi haberleşmenin tamamen durmasına yol açabilir.

Afet bölgelerinde meydana gelecek hasarların yaygınlığı bu hasarları giderecek ve şebekenin işleyişini sürdürmesini sağlayacak ekiplerin kendilerinin de afetzedede olmaları haberleşmenin tekrar başlayabilmesi yönünde ciddi bir engel oluşturmaktadır. Şebekenin çalışması bu sebeple bölge dışından tamir ve bakım ekiplerinin gerekli teçhizat ile bölgeye ulaşmasına bağlı olacaktır. Bu da oldukça uzun bir süre alacağından bölgedeki haberleşmenin en çok ihtiyaç duyulan anlarda yapılamaması demektir.

Her ne kadar afet arama-kurtarma, sağlık ve diğer yardım ekiplerinin kendi aralarında telsiz haberleşmesi mümkün olsa da sivil halkın haberleşmesi ve hatta yardım istemek amacıyla 112 ve benzeri hatlara ulaşmaları mümkün olmayacaktır.

3.2. Afetlerde (veya Afetzedelerin) Mobil Haberleşme İhtiyacı

Afetlere hazırlık dokümanlarında afet çantaları bireylerin afetlere hazırlıklı olmalarının birinci şartı olarak görülmektedir. AFAD gibi kurumların web sitelerinde çantanın nasıl hazırlanacağı anlatılmaktadır (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2019). Hatta AKUT sitesinde hazır olarak satılmaktadır (AKUT Vakfı, 2024). Ancak yeni yaklaşım cep telefonun deprem çantasından daha faydalı olacağı yönündedir (Yeditepe Üniversitesi Hastaneleri, 2019).

Afetten etkilenen bir kişi enkaz altında mahsur kalıyorsa durumunu bildirmek, yardım istemek için haberleşmeyi sürdürebilmeye, bunun için ise çalışan bir cep telefonuna ihtiyacı vardır (İzmir Ekonomi Üniversitesi, 2020). Deprem sonrası hayatta kalanların yine yakınlarıyla haberleşebilmesi, ailelerin bir araya gelebilmeleri, yardımlarla ilgili bilgi alabilmeleri, e-devlet ve bankacılık işlemlerini sürdürebilmeleri vb. işler için yine cep telefonlarına ihtiyaçları vardır. Bu sebeplerle kişilerin cep telefonlarının çalışabilirliğinin sağlanması temel ihtiyaçlar arasında görülmelidir.

3.3. Afet Ortamında Enerji

Afet anlarında yangın ve çarpılma risklerine karşı elektrik enerjisinin kesilmesi özellikle gerekmektedir. Kopan enerji hatları ile hasar gören bağlantılar hasarın yakınında bulunan insanlar için büyük tehlike oluşturmaktadır. Tekrardan elektrik verilmeden önce hasar bilgisinin toplanmış ve hatların güvenliğinin sağlanmış olması gerekmektedir. Bu durum afet anlarında eksik personel ile çalışan elektrik dağıtım şirketleri için neredeyse imkânsız bir durumdur (Tanyaş vd., 2014).

Afetzedelerin aydınlanma ihtiyaçlarının yanı sıra günümüz iletişiminin ayrılmaz parçası haline gelmiş mobil cihazları çalıştırmaları için bunları şarj etmeye ihtiyaçları vardır. Evlerin hasar gördüğü, elektriğin yaygın olarak kesildiği durumda mobil cihazların şarj edilmeleri başlı başına bir sorun oluşturacaktır. Bunun için afetzedelerin kolaylıkla erişebilecekleri şarj noktalarının sağlanması yiyecek, içecek, barınma, temizlik gibi temel afet yardımı olarak kabul edilmelidir.

Mobil iletişimin bir ucunda kullanıcı cihazları bulunurken diğer tarafta ise antenler, kara hattı bağlantıları ve yönlendiriciler bulunmaktadır. İletişimin sürdürülebilmesi için bu cihazların da afetten etkilenmeden çalışır durumda olmaları gerekmektedir; çalışması için de yine elektriğe ihtiyaçları vardır.

Enerji aynı zamanda basit sokak aydınlatmasının sağlanması için de gereklidir. Afet bölgelerinde en azından toplanma alanları ile ana caddelerin kısmen aydınlatılmaları gerekmektedir.

3.4. Güvenilir, Gürbüz ve Dirençli Sistemler

Bir sistemin çalışmasını sürdürmesini farklı tanımlarla ifade edilebilmektedir. Bunlardan birincisi “Güvenilir” tanımıdır (Reliable). Bir sistemin tasarlandığı ortamda beklenildiği gibi çalışmasına güvenilirlik adı verilir. Tasarımcıların sorumluluğu yalnızca başta belirtilen ortam ile sınırlıdır. Tasarlandığı ortam dışında zorlayıcı ortamlarda da çalışmasını arıza vermeden sürdüren sistemler “Gürbüz Sistemler” (Robust) olarak tanımlanır. Beklenen çalışma ortamının ötesinde bir ortam için tasarlanmış olduğunu da söyleyebiliriz. Ancak bu genişletilmiş ortam sınırlarının da aşıp hasar veren beklenmeyen olaylarla karşılaşıldığında bu durumdan kendisini kurtarma veya duruma uyum sağlama yeteneğine ise “Dirençlilik” (Resilience) adı verilmektedir. Beklenmeyen ve hasar veren durumlara örnek olarak arızaları, kazaları, amaç değişikliklerini (Repurposing) ve doğal afetlerle diğer dış etkileri verebiliriz.

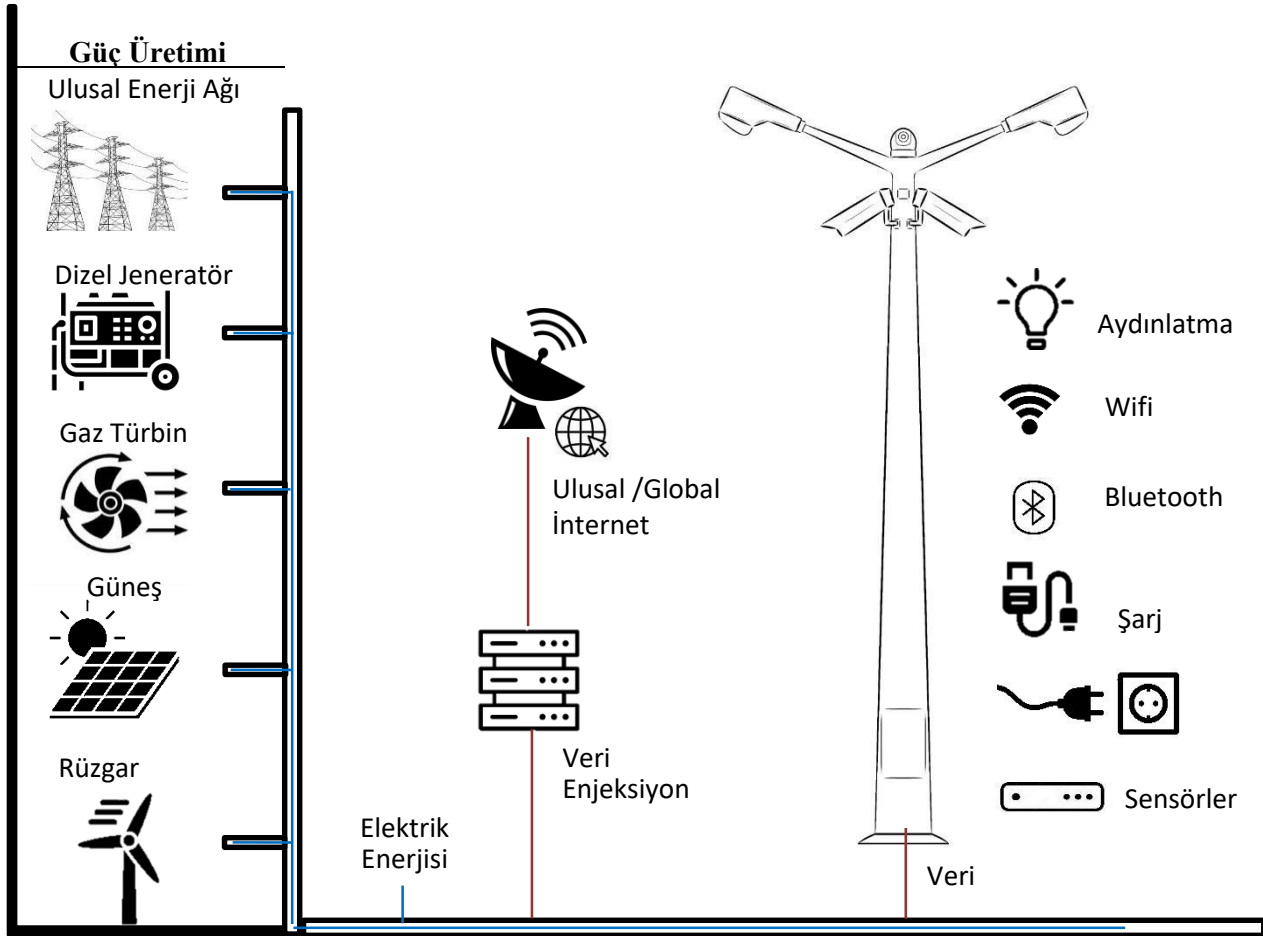
Güvenilirlik, Gürbüzlük ve Dirençlilik dış ortamda gittikçe artan oranda meydana gelen zorluklara karşı bir sistemin çalışabilirliğini belirlemektedir (Jones, 2021). Ancak bir sistemi gürbüz olarak tanımlayabilirken, nominal çalışma ortamının kapsamını genişletip sadece güvenilir olarak da tanımlamak mümkündür. Ancak dirençlilik tanımına beklenmeyen unsurlar da dahil edildiğinden çalışma ortamının kapsamını genişleterek güvenilir veya gürbüz olarak tanımlamak mümkün olmayacaktır. Afet ortamları özellikle beklenmeyen durumları içerdiğinden sistemlerin özellikle dirençli olarak tasarlanmaları gerekmektedir.

Dirençli sistemlere 4 adımda erişilir: Birinci adımda güvenilirlik şartları belirlenir, parça sayısı azaltılır, güvenilir parçalar kullanılır, yedekler bulundurulur. İkinci adımda yedeklemeler çeşitlendirilir. Üçüncü adımda güvenilirlik şartları genişletilerek bilinen risklere karşı önlem alınır. Dördüncü adımda ise kapasite artırılır, yeniden yapılandırılabilir ve yeniden amaçlandırılabilir parçalar kullanılır, hasar yaratacak durumlar azaltılmaya çalışılır ve izleme/düzeltilme altyapısı kurulur (Jones, 2021).

3.5. Afet Aydınlatma, Enerji, Haberleşme Bütünleşik Ağı Tasarımı

Afet bölgesinde bulunan bir kişinin cep telefonu vasıtasıyla iletişimini sağlayabilmesi için iki temel unsur bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kişinin telefonunun çalışabilir durumda ve şarjlı olması, ikincisi ise aktif bir internet ağına bağlanabilmesidir. Bu iki şartı aynı anda yerine getirecek basit yapıda tek bir çözüm muhtemelen en kullanışlı ve dirençli çözüm olacaktır.

Afetzedelerin haberleşme gereksinimlerinin bütünleşik olarak sağlanması amacıyla bir Afet Enerji-Haberleşme Ağı önerilmektedir. Bu ağ İBB-İPA raporunda bahsi geçen öneriler doğrultusunda tasarlanacaktır. Bu haberleşme ağının gerek fiziksel yapı gerekse operasyonel anlamda gürbüz veya mümkünse dirençli olarak kurulması gerekmektedir. Gürbüz sistem tasarımına afet sonrası ortamının nasıl olacağının tahmin edilmesi ve bu tahminlerin dahil edilmesi gerekir. Sistemin dirençli olarak tanımlanabilmesi için afetin tahmin edilen sonuçlarının ötesinde bir takım dış etkilerin gerçekleşebileceği ve sistemin buna rağmen kendisinin çalışmaya devam edebilmesi veya hızlı bir şekilde tamir edilebilmesi gerekmektedir.



Şekil 1: Afet şebeke-direk tasarımı

Bu haberleşme ağının bileşenleri Tablo 3’de gösterilmektedir. Temel bileşenler güç üretimi, güç aktarımı (transmisyon), ulusal haberleşme ağı bağlantısı, veri modülasyonu ve gerekirse enjeksiyonu, afet haberleşme ve aydınlatma direğidir.

Tablo 3: Afet şebeke-direk bileşenleri

Bileşen	Kaynak ve ek ekipmanlar
Güç Üretimi	Ulusal enerji ağı, dizel jeneratör, gaz türbin, güneş ve rüzgar (yenilenebilir enerji kaynakları)
Güç Aktarımı	-
Veri Aktarımı	BPL, fiber
Kablosuz Erişim Noktası	-
Mobil Şarj Noktaları	-
Sensörler ve IoT Cihazları	İnternet bağlantılı ortam kamerası, bilgi ekranı, ivme ölçer, aktüatörler, sensörler
Aydınlatma ve Özel İhtiyaçlar	-

Şekil 1’de ilgili direğin mühendislik tasarımı gerçekleştirilmiştir. Farklı güç üretim kaynaklarından alınabilecek elektrik enerjisi ile diğer bileşenler için gerekli olan güç sağlanacaktır.

3.5.1. Güç Üretimi

Afet anlarında elektrik üretimi ve aktarımında yaşanan sorunlara karşı acil durum güç üretimi yapacak karma bir tesis önerilmektedir. Bu tesis ulusal elektrik ağına mevcut elektrik dağıtım şebekelerinden ayrı bir hatla bağlanacak, ayrıca kendisi de muhtelif yöntemlerle elektrik üretecektir. Elektrik üretimi için yüksek güçlü standart dizel jeneratörler (2.000 KVA), gaz türbin çevrim santrali (50 MW), güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin bazılarını veya hepsini kullanmak mümkündür. Güneş panellerinin günlük döngüleri, rüzgâr türbinlerinin de depreme dayanıklılık sorunları nedeniyle kullanımlarının kısıtlı olmaları beklenmelidir. Dizel jeneratörler ile gaz türbin santrali arasındaki seçim ihtiyaç duyulacak güce ve kullanım süresine bakarak belirlenecektir. Güç kapasitesi gaz türbin santrallerinde daha yüksek olmakla beraber yakıtın saklanması ve santralin işletilmesi daha karmaşıktır. Dizel jeneratörleri ise yaygın ve olgun teknolojilere sahiptir; ölçeklendirme ile de istenilen güç kapasitelerine ulaşılabilir. Bu sebeplerle güç üretimi için öncelikle dizel jeneratörler seçilmelidir. Elektrik üretimi yöntemleri Tablo 4’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 4: Elektrik üretimi yöntemleri

Yöntem	Olumlu	Olumsuz
Ulusal Enerji Ağı	Sürekli, düzenli, yüksek güçte	Depremden etkilenme olasılığı yüksek
Dizel Jeneratör	Güvenilir, basit, kolay bakım	Sınırlı kapasite, yakıt tedariki ihtiyacı
Gaz Türbin	Yüksek güç	Karmaşık, eleman ihtiyacı, yakıt ihtiyacı
Güneş	Ölçeklendirilebilir, yakıt ihtiyacı yok	Gündüz belirli saatlerde enerji sağlar
Rüzgâr	Ölçeklendirilebilir, yakıt ihtiyacı yok	Kule deprem riski taşır, güvenilir değil.

Direklerde güneş veya rüzgârdan güç üretimi teknik olarak mümkün olsa da bu yöntemin sistemin karmaşıklığını artıracığından, kaynakta enerji kesilmesi durumunda zaten direklerin bağımsız olarak görevlerini yerine getiremeyeceğinden ve direkte üretilen gücün yeterli olamayacağından dolayı uygun görülmemiştir (1m² güneş paneli güneşin en parlak olduğu anlarda ancak 300 W enerji üretmektedir. Bir direğin taşıyabileceği güneş paneli ile kullanışlı bir güç üretmek ya da direğin ihtiyacının güneş panelinden karşılanması mümkün gözükmemektedir. Direğin tepesine yerleştirilecek dikine kanatlı kompakt yapıda rüzgâr türbinleri ile 3-10 KW arasında enerji üretmek mümkün olsa da bunun rüzgârın yeterince kuvvetli estiği anlarda mümkün olacağını, batarya kullanımının karmaşıklığı artıracığı, fırtınalarda direğin ve tüm ekipmanların hasar görebileceğini ve diğer olumsuzlukların da yaşanabileceğini unutmamak gerekir.).

3.5.2. Güç Aktarımı

Güç aktarımında yapılacak en temel seçim sistemin voltajı olacaktır. Sistem 220/380 volt üzerinden aktarım yapabileceği gibi daha yüksek voltaj da kullanılabilecektir. Düşük voltajın avantajı kullanılan cihazların büyük bölümünün bu tüketici voltajına ayarlı olmaları ve ayrı bir transformatöre gerek duymamalarıdır. Yalnız düşük voltaj üzerinden akım çekilmesi durumunda sistem uzak mesafelerde voltaj kaybına uğrayacaktır. (Bir direğin çekeceği akımın 30A civarında olacağı varsayımıyla, 0,01 Ohm/km dirençli 2500mm² kablo bağlı direk başına km’de 0,3 V voltaj kaybına uğrayacaktır. Buna göre 1 km aralıklarla direk yerleştirilen 10 km’lik bir hattın sonundaki voltaj kaybı ise yaklaşık 17V olarak hesaplanır.)

Ancak günümüzde sisteme bağlanacak cihazların neredeyse tamamının elektronik güç kaynaklarına sahip olması nedeniyle bu durum kullanımda herhangi bir etki yaratmayacaktır. Kullanılacak kabloların çekilecek gücü sorunsuz karşılayacak ölçüde (kalınlıkta) olması, yer hareketlerinin doğuracağı esnemelere karşı boşluklarının olması, olası yapısal hasarlardan etkilenmeyecek şekilde sağlam olması, parazitlere karşı ekranlanmış olması gibi özellikleri olmalıdır.

3.5.3. Veri Aktarımı

Veri aktarımı için 2 alternatif önerilmektedir. Bunlardan birincisi Elektrik Şebekesi üzerinden Geniş Bant yöntemidir. İngilizcesi Broadband over Power Line (BPL) olan bu yöntem elektrik dağıtım şebekesi üzerinden (aynı kabloları kullanarak) yüksek hızlı (400 Mbps) haberleşme yapılmasıdır. Alternatif akım 50 Hz (düşük) frekansa sahip olduğu için 2-80 MHz (yüksek) frekans kullanılarak sinyaller karışmadan veri haberleşmesi yapmak mümkündür. Elektrik şebekesi üzerinden veri haberleşmesi 100 yıldan fazladır uygulanmakta olup, dağıtım şirketlerince cihazların kontrolü ve düşük hızlarda veri aktarımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük iki sorunu benzer frekanslardaki radyo ve telsiz yayınlarının elektrik şebekesine karışabilmesi ve şebekeye bağlı cihazların oluşturdukları gürültüdür. Bu olumsuzluklar ekranlı (elektromanyetik yalıtılmış) kablo kullanılarak ve bağlı cihazların sayısını ve kalitesini kontrol altında tutarak ortadan kaldırılabilir.

İkinci yöntem ise elektrik şebekesi yanında ikinci bir veri hattı çekilmesi ile ve haberleşmenin bu hat üzerinden yapılmasıdır. Bu hat günümüzde fiber kablo kullanmakta olup çok yüksek haberleşme hızları sağlayabilmektedir. İkinci bir hattın bulunması sistemin karmaşıklığını artıracak dolayısıyla az da olsa güvenilirliğini düşürecektir.

Tablo 5: Veri aktarım yöntemleri

Yöntem	Olumlu	Olumsuz
BPL	Tek hat, daha az karmaşık	Nispeten düşük hız, niş teknoloji
Fiber	Çok yüksek hız, yaygın teknoloji	İkinci hat, artan hasar riski.

İki teknoloji den birinin diğeri üzerine net bir üstünlüğü görülmemektedir (Tablo 5). Ancak Türkiye’de fiber optik teknolojilerinin yaygın olarak kullanılması ve bu konuda bilgi ve deneyime sahip elemanların bulunması sebebiyle fiber optik haberleşme ağı kullanılması daha uygun bulunmuştur.

3.5.4. Kablosuz Erişim Noktası

Kablosuz Erişim Noktası (KEN) dizüstü bilgisayar, tablet ve cep telefonu gibi mobil cihazların en yaygın ağ bağlantısı biçimidir. Bu haberleşme yöntemi IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Association)’nin 801.11X standartlarıyla belirlenmiştir. KEN’ler kablolu veri hattından gelen sinyali mobil cihazlara aktarır. Bağlanan cihaz sayısı, bunların antenden uzaklıkları, arada engel olup olmadığı gibi etmenler her birinin erişeceği maksimum hızları etkilemektedir. Bir bağlantı noktasına 100 cihaza kadar bağlanabilmektedir; toplam cihaz sayısını artırmak için KEN sayısını artırmak yeterlidir. KEN’e erişim şifreli veya açık olabilir. Açık erişimin destekleyicileri arasında Electronic Frontier Foundation bulunmaktadır (EFF Elektronik Sınır Vakfı, 2011). Afet bölgelerinde şifresiz açık erişimin avantajları aşikârdır.

3.5.5. Mobil Şarj Noktaları

Cep telefonları ve benzeri mobil cihazların şarj edilebilmeleri için şarj standartları belirlenmiştir. 2015 Yılından itibaren yaygın olarak Quick Charge 2.0 (QC) standardı kullanılmaktadır. Bu standarda göre 5V ve 9V voltajla 1,67A, 2A ve 3A akımla maksimum 18W’a (2A x 9V) kadar şarj gücü sağlanabilmektedir. 2020 Yılından itibaren yaygınlaşan Quick Charge 4 standardıyla da 25W (2,6A x 9V) ve 100W (5A x 20V) şarj desteği sağlanmaktadır (Wikipedia, 2024). Yeni nesil mobil cihazlar daha üst standartları destekleyerek daha hızlı şarj olabilmek imkânına sahip olmanın yanında düşük güçlü kaynaklardan daha yavaş da olsa şarj olabilmektedirler.

Mobil cihazların şarj cihazlarının bağlantı uçları da çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliğin azaltılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Birliği’nde yıllardır süren standartlaşma çalışmaları önce micro-USB (European Commission, 2009) daha sonraları ise USB-C (European Parliament, 2022) bağlantı uçları standart olarak kabul edilmiştir. Apple Bilgisayar’ın Lightning standardı da böylece sona ermiştir.

Mevcut mobil cihaz stoğuna dayanarak micro-USB ve Lightning QC2 ile USB-C QC4 standardında şarj uçlarının sağlanması uygun olacaktır. Bunlarla uyumlu olmayan farklı tipteki bağlantı uçları için ise USB güç çıkışı ile desteklenebilir. Bunların dışındaki tüm şarj cihazlarının uygun olduğu durumlarda 220V prizleri kullanması hala mümkün olacaktır.

USB şarj noktaları aynı zamanda internet bağlantısı da sağlayabilirler. Bu yöntem Wi-Fi bağlantılarını destekleyerek toplam bağlanan cihaz sayısını artıracaktır (USB üzerinden bağlantı (İngilizce’de Tethering) mobil cihaz modellerine göre farklılık gösterecek ve kullanıcıya özel ayarların yapılmasını gerektirecektir.).

Mobil cihazların haberleşme dışında kullanım alanları içinde aydınlatma (fener) ve çocukların oyalanması için oyunlar da bulunmaktadır.

3.5.6. Sensörler ve IoT Cihazları

Veri ağlarına doğrudan bağlanabilen cihazlar arasında sensörler, minyatür eyleyiciler (aktüatör), ses cihazları ve gösterge panelleri bulunur. Bu cihazlar ortamı algılayıp ölçümleri sunucu bilgisayarlara aktarır, basit hareketler sağlayabilir veya iletişim kurulmasını sağlayabilir. Örneğin ivmeölçerler bir nesnenin ayakta olup olmadığını, voltaj veya akım ölçerler elektrik enerjisini veya kaçağın olup olmadığını, aktüatörler bir kapağın açılıp kapanmasını, ışıkların yanıp sönmelerini sağlayabilirler. Yine internete bağlı cihazlar üzerinden tek veya çift taraflı olarak yazılı, sesli veya görsel iletişim sağlanabilir. Bu cihazlar sırasıyla şunlardır:

İnternet bağlantılı ortam kamerası: Direğin bulunduğu ortamın gözlenmesi ve afet desteği sağlayan tüm kuruluşlara görsel bilgi aktarılması için farklı çözünürlüklerde (geniş açı, telefoto, vb.) farklı ışıklarda çalışan (görünür, infrared vb.) kameralardır.

Bilgi ekranı: Afetzedeleri bilgilendirmek, anlık mesajlar iletmek, kullanım yönergeleri gösterebilmek ve benzeri amaçları gerçekleştirecek internet bağlantılı dokunmatik ekranlardır. Bir içerik yönetim uygulaması ile gerektiğinde tek taraflı genel duyurular, gerektiğinde ise çift taraflı kişisel haberleşme sağlanabilir.

İvme ölçer: Bu cihazlar sarsıntıların büyüklüğü hakkında hassas veri sağlayabileceği gibi deprem sonrasında bir direğin ayakta olup olmadığını veya ne kadar yatık olduğunu da ölçebilir.

Aktüatörler: Uzaktan komut verilmesi ile basit fiziksel işlemleri gerçekleştirmeye yarayan cihazlardır. Bir elektrik düğmesinin veya sigortanın açılıp kapanması, bir kapağın açılıp kapanmasını aktüatörler sayesinde uzaktan yapmak mümkündür. Aktüatörler ile hasarlı direklerin elektrik bağlantıları kesilerek kullanıcı güvenliği sağlanabilir.

Sensörler: İnternet bağlantılı sensörler ortam ile ilgili fiziksel verileri (sıcaklık, nem, elektrik akımı, ışık miktarı vb.) tek taraflı olarak bir merkeze iletmeye yarayacaktır. Bu veriler afetzedelerin ihtiyaç önceliklerinin belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

3.5.7. Aydınlatma ve Özel İhtiyaçlar

Haberleşme öğelerinin yanında direğin aydınlatma ve özel enerji ihtiyaçları için de kullanılması mümkündür. Enerjinin ulaşabildiği noktaların aydınlatılması düşük güçle çalışan LED sokak lambalarıyla yapılacaktır. Bu cihazlar hem yüksek enerji verimine sahiptir hem de katı hal yapıları sebebiyle fiziksel darbelerden daha az etkilenmektedir. Lambaların gücü, sayısı ve yönlendirmeleri direklerin boyu ve aydınlatılacak alanın büyüklüğüne bağlı olacaktır.

Özel enerji ihtiyaçları içerisinde akülü tekerlekli sandalyeleri ve elektrikle çalışan tıbbi destek cihazlarını (Örn. solunum cihazları, oksijen konsantratörleri, beslenme pompaları) sayabiliriz. Akülü tekerlekli sandalyeler için 3-pin bağlantı uçlu 24V/2-8A standart şarj sağlanacaktır. Tıbbi cihazlar için ise 220V/5A (1KW) topraklı prizler bulundurulacaktır.

3.6. Kapasite İhtiyacı

Sistemin kapasitesi farklı boyutlarda hesaplanır. Bunlar veri, enerji ve kullanıcı boyutlarıdır. Her bir direktteki ihtiyaç hesaplandıktan sonra toplam sistem kapasitesi hesaplanacaktır.

Veri: Veri aktarımı iki farklı kapasite ölçüsünü gerektirir. Bunlardan birincisi bir direğin aynı anda kaç kullanıcıya hizmet vereceği yani bağlantı sayısı. İkincisi ise her bir bağlantının ve direğin toplam veri hızları. Huawei tarafından stadyumlarda kablosuz veri aktarımı sağlanması için yapılmış olan vaka analizinde bir bağlantı noktasından %30 kullanım oranı ile yaklaşık 300 kişiye 2Mbps hızlarla haberleşme erişimi verileceği öngörülmüştür (Huawei, 2024). Bu değer bir KEN'in yaklaşık 100 bağlantıyı destekleyeceği varsayımı ile de uyumludur. Buna göre bir direğe kurulacak 4 KEN ile aynı anda 400 bağlantı ile direğin çevresinde bulunan 1.200 kişiye erişim sağlanabilecektir. Gün içerisinde direğin çevresinde bulunan kişilerin 4 kez yenileneceği varsayımıyla toplamda 5 bin kişiye (mobil cihaza) haberleşme desteği sağlanabilecektir. Her bir cihazın 2 afetzede tarafından kullanılacağını varsayarsak bir direğin yaklaşık 10 bin afetzedeye erişim imkânı sağlayacaktır. Afet bölgesinde minimum haberleşme hızının 1 Mbps olması düşünülmüştür. Amaç temel iletişimin (ses, yazı, küçük boy dosya) sağlanması olacağı için oyunlar, video akışı ve yoğun veri kullanan diğer sitelere erişim engellenebilir, bağlantı hızları kısılabılır. Bu varsayımlara göre bir direğin toplam veri ihtiyacının 400 kişi x 1 Mbps = 400 Mbps civarında olacağı öngörülmektedir. Bu ise tipik bir ticari fiberoptik bağlantının sınırları içerisinde. Direkte kurulu diğer gözlem ve haberleşme cihazlarının veri ihtiyacını karşılamak ve birinci bağlantıyı yedeklemek için ikinci bir fiber bağlantı veya BPL bağlantısı yeterli olacaktır.

Enerji: Bir direkte afetzedeler için şarj bağlantıları, veri cihazları ve aydınlatma için enerji ihtiyacı bulunmaktadır.

Sokak Aydınlatma: Şehir aydınlatması için kullanım alanlarına göre direk başına 3.000 lumen (ara sokaklar) ile 50.000 lumen (ana caddeler ve kavşaklar) arasında aydınlatma (ışık akısı) önerilmektedir. Yeni nesil LED aydınlatma gerek ömürleri gerek ek cihaz (balast vs) ihtiyacı olmaması gerekse katı hal yapıları sebebiyle diğer ışık kaynaklarına göre avantajlıdır. LED'in ışık verimi 100 lumen/watt'dan daha yüksektir.

Direkler için üst sınır olan 50.000 lumen önerilmektedir. Bu miktarda ışığın sağlanması için ise 500 W kaynak gerekmektedir. Tasarımda aydınlatma için emniyet faktörleri de dahil 1.000 W kaynak ayrılacaktır (Design Manual, 2020).

Mobil Şarj Noktaları: Mobil cihazlar şarj standartlarına göre 18, 25 veya 100 Watt güç çekmektedirler. En yaygın bağlantı uçları da micro-USB, Lightning ve USB-C standartlarıdır. Bunlardan Lightning Apple tarafından iPhone ve iPad modellerinde Eylül 2023 yılına kadar kullanılmış ve USB-C ucuna geçilmiştir (Shakir, 2023). Samsung ve diğer telefon üreticileri ise çok daha önceden USB-C kullanmaya başlamışlardır (Brian, 2020). Geleceğe yönelik bir tasarımın ağırlıklı olarak USB-C kullanırken mevcut telefonları da desteklemesi beklenmelidir. Direğin fiziksel tasarımı 10'lu bağlantı destelerinden 6 adedine izin verecektir. Bu destelerden 1 adedi micro-USB, 1 adedi Lightning, 3 adedi 25W USB-C ve 1 adedi de 100W USB-C standardına ayrılacaktır. Böylece toplam 20 adet 18W, 30 adet 25W ve 10 adet 100W bağlantı noktası olacaktır. Kayıplar ve emniyet payı ile kapasite ihtiyacı yaklaşık olarak 2,500 W olarak belirlenecektir.

Engelli Şarj Noktası: Engelliler tarafından kullanılan akülü tekerlekli sandalyelerin şarjı için 3-pin 24V (27V) 8A şarj cihazları mevcuttur. Bu cihazlar bir sandalyeyi 6-10 saatte şarj edebilmektedir. Bir tam şarj kişinin günlük mobilite ihtiyacını (10-30 km menzil) rahatlıkla karşılayabilmektedir. (kaynak: muhtelif web sayfaları) İstanbul'da bulunan akülü sandalye sayısı hakkında bir istatistiğe erişilememiş olmakla beraber nüfusun %1'inin tekerlekli sandalye ihtiyacı olduğundan (World Health Organization, 2010) yola çıkarak İstanbul'da yaklaşık 150.000 kişinin tekerlekli sandalye ihtiyacı olacağı, akülü sandalye sayısının ise 50-100 bin arasında olacağını varsayabiliriz. Sandalye genişlikleri 70-75 cm olarak kabul edilirse bir direğin yakınlarında 2 ya da 3 sandalye park edilebilecektir. Kapasite ihtiyacının 600W civarında olacağı düşünülmektedir

Standart Priz: Ev tipi tıbbi destek cihazları kullandıkları enerjiyi 220V tek fazlı topraklı elektrik prizlerinden almaktadır. Bu cihazların elektrik kullanımları genellikle 200W'ın altında olmakla beraber bazı modeller 900W'a kadar güç çekebilmektedir. Bu güç ihtiyacını karşılayacak 220V 5A (1.000W) standart prizler eklenecektir. Prizler medikal amacı dışında müsait olmaları halinde taşınır bilgisayar, elektrikli bisiklet, vb düşük güçte cihazların şarj edilmesi için de kullanılabilir (Heltman, 2024).

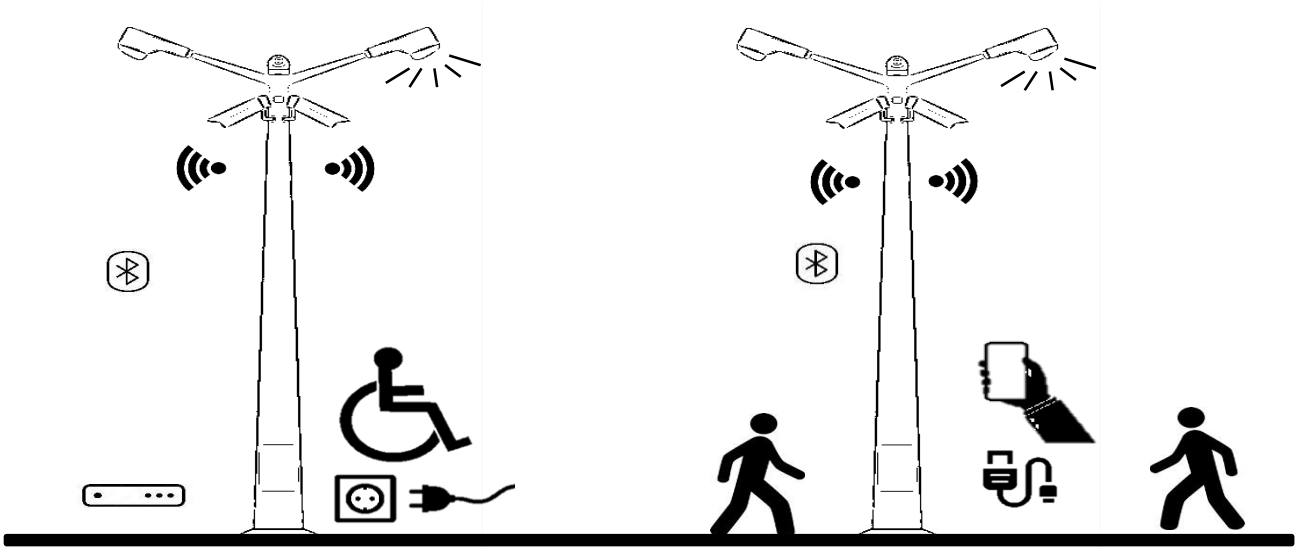
Bir direk civarında medikal ihtiyacı olan 2 kişiyi oturtmak veya yatırmaya yetecek alan bulunacaktır. Toplam kapasite ihtiyacı yaklaşık 2.500 W'tır.

Elektronik Haberleşme Cihazları: Aktüatörler, sensörler, kameralar, ekranlar vb cihazların çoğu düşük güçlerle çalışmaktadır. Bu sebeple toplamda 1.500 W gücün yeterli olacağı düşünülmektedir. Ancak antenler, yönlendiriciler ve diğer haberleşme cihazlarının da 1.000 W'a yakın güç çekeceğini düşünürsek elektronik haberleşmeye ayrılacak güç kapasitesi 2.500 W olarak hesaplanmaktadır (Cisco, 2019; Huawei, 2024).

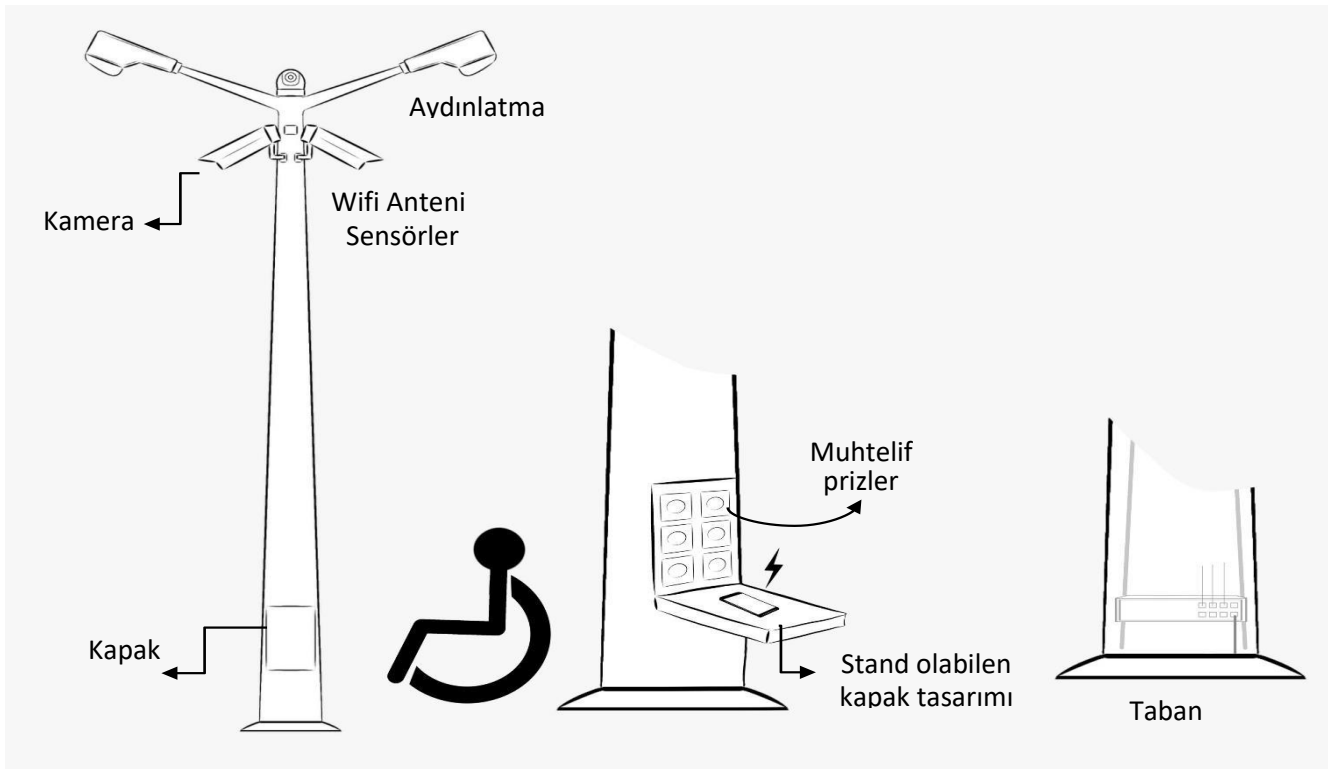
Bir direğin güç ihtiyacı çekilecek maksimum bağlantı sayısına ulaşıldığında ana hattan çekilecek maksimum güce eşittir. Bu miktar 7 kW civarında olmakla beraber emniyet payları ile birlikte ayrılmış güç kapasitesi 10 kW'tır. Güç kullanımının detayları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6: Güç kullanım detayları

Cihaz	Güç	Adet	Toplam Güç	Ayrılmış Kapasite
LED Aydınlatma	500 W	1	500 W	1.000 W
USB (hızlı şarj)	18 W	20	360 W	500 W
USB-C	25 W	30	750 W	1.000 W
USB-C (yüksek güç)	100 W	10	1.000 W	1.000 W
12/24 8A 3 fişli	200 W	3	600 W	600 W
220V 5A	1.100 W	2	2.200 W	2.500 W
Wi-Fi erişim noktaları	125 W	4	500 W	500 W
Yönlendiriciler	200 W	2	400 W	400 W
Sensörler	10 W	20	200 W	250 W
Aktüatörler	10 W	20	200 W	250 W
Muhtelif	---	---	500 W	1.000 W
Emniyet payı				1.000 W
TOPLAM			7.210 W	10.000 W



Şekil 2: Afet şebeke-direk prototipi



Şekil 3: Afet şebeke-direk tasarımı

Afet şebeke-direği gövde üzerine donanımları barındıracak yuvaları içermektedir (Şekil 2). Bu yuvalar hava koşullarından etkilenmeyi engellemek adına korumalı olarak tasarlanmıştır. Şarj için priz, kablo giriş noktaları, internet dağıtımı için donanımlar, aydınlatma ünitesi ve sensörler gövde üzerinde yer almaktadır (Şekil 3).

3.6.1. Afet Enerji-Haberleşme Bütünleşik Ağı Kapasiteleri

Sistem bir bölgesel yönlendirici veri merkezi ve buna bağlı direklerden oluşmaktadır. Direklerin enerji ihtiyacı yukarıda hesaplanmıştır. Veri merkezinin enerji ihtiyacı ise kişi başı enerji ihtiyacı ile bağlı kişi sayısının çarpımı ile bulunacaktır (Hinton vd., 2011).

Kenar ağlar için (İngilizce’de edge network) için kişi başı güç kullanımının 5 W’ın altında olduğunu hesaplamışlardır. Buna göre aynı anda 400 kişinin bağlı olduğu her direğin karşılığı olarak yaklaşık 2.000 W sunucu gücü (toplamda 12 KW) olacaktır.

Üretilen elektrik gücü açısından ele alındığında bir adet 2.000 KVA gücündeki jeneratör ile bu direklerden yaklaşık olarak 120 adedini desteklemek mümkündür. Direkler 1’er km aralıklarla yerleştirilmesi durumunda her biri 1 km²’lik bir alana hizmet vereceklerdir.

İstanbul’da depremden en çok etkilenecek bölgelerin yerleşim alanının yaklaşık 1.200 km² ve nüfusun 13 milyon kişi olduğunu varsayarsak ortalama nüfus yoğunluğu yaklaşık 10 bin kişidir. Bu sayı da bir direğin 1km² alanı kapsamı varsayımı ile uyumludur. Bu alanı ise 10 adet veri merkezi ve 1.200 direk ile etkin olarak kapsamak mümkün olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, afet sonrası süreçlerde kritik öneme sahip olan aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyaçlarının tek bir kaynaktan karşılanması amacıyla çok fonksiyonlu bir direk tasarımı geliştirmiştir. Literatür taraması ve mühendislik tasarımı yöntemlerine dayanan bu hibrit direk, farklı enerji üretim sistemlerini, kablosuz iletişim teknolojilerini ve çeşitli veri aktarım bileşenlerini entegre ederek, afetzedelerin temel ihtiyaçlarını hızlı ve etkili bir şekilde karşılamayı amaçlamaktadır. Direğin modüler yapısı, şehirlerin farklı bölgelerinde esnek bir şekilde uygulanabilme potansiyeli sunmaktadır.

Sonuç olarak, afetlerde aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyaçlarının tek bir kaynaktan karşılanması bazı zorluklar barındırır, dayanıklı şebeke mimarileri, enerji verimli tasarımlar ve yenilikçi altyapı çözümlerinin birleşimi bu ihtiyaçların etkili bir şekilde karşılanabileceği görülmüştür. Bu sistemin öncelikli olarak bir pilot alanda uygulanması ve zaman içerisinde belediyeler, bakanlıklar ve diğer kuruluşların ortaklığı ile tüm şehir boyunca afete dayanıklı alanlara entegre edilmesi gerekmektedir. Afet parkları, toplanma alanları, güvenli yol hatları gibi alanlara uygulanacak olan bu çok fonksiyonlu afet direkleri aydınlatma, haberleşme ve enerji ihtiyacının tek noktadan ve sürdürülebilir şekilde giderilmesini sağlamaktadır.

Farklı ihtiyaçlar doğrultusunda çok fonksiyonlu afet direk tasarımında yenilik ve eklemeler yapılabileceği gibi, gelişen teknoloji ile farklı donanımlar vasıtası ile ihtiyaçlar giderilebilecektir. Standart tasarıma sosyo demografik yapıyı da dikkate alarak bölge veya kentler özelinde farklı eklentiler ilave edilebilir.

Bununla birlikte, gerçek dünya felaket senaryolarında etkinliklerini sağlamak için sürekli bakım ihtiyacı ve bileşen arızası riski gibi bu sistemlerin potansiyel sınırlamalarını dikkate almak önemlidir. Bu sistemlerin nesnelerin interneti gibi teknolojiler ile uzaktan bakımlarının ve güncellemelerinin yapılması, periyodik olarak izlenmesi gibi faaliyetler afet sonrasına hazırlıkta önemli rol oynamaktadır.

Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2019). *Afet ve acil durum çantası nasıl hazırlanmalı?* 16 Eylül 2024’te <https://www.afad.gov.tr/afet-ve-acil-durum-cantasi-nasil-hazirlanmalı> adresinden alındı.
- Akizuki, Y., Komatsu, Y., Yamaguchi, H., & Nagamachi, S. (2023). *Application of night-time landscape lighting to disaster prevention*. [Conference presentation]. Commission Internationale de L'Eclairage. <https://doi.org/10.25039/x50.2023.PO046>
- AKUT Vakfı. (2024). *Acil Durum Çantası*. 16 Eylül 2024’te <https://akutvakfi.org.tr/magaza/acil-durum-cantasi/> adresinden alındı.
- Al-Bahadili, H. (Ed.). (2012). *Simulation in Computer Network Design and Modeling: Use and Analysis: Use and Analysis*. IGI Global.
- Ali, K., Nguyen, H. X., Vien, Q. T., & Shah, P. (2015, March 23–27). *Disaster management communication networks: Challenges and architecture design* [Conference presentation]. 2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), St. Louis, USA.
- Aljada, M., Alameh, K., & Al-Begain, K. (2006, January 17–19). *Distributed wireless optical communications for humanitarian assistance in disasters* [Conference presentation]. Third IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications (DELTA’06), Kuala Lumpur, Malaysia.
- Austin, R., Bull, P., & Buffery, S. (2017, August 21–23). *A raspberry Pi based scalable software defined network infrastructure for disaster relief communication* [Conference presentation]. IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), Prague, Czech Republic.
- Brian, K. (2020). *Samsung Galaxy Note 3 Review*. 16 Eylül 2024’te <https://www.anandtech.com/show/7376/samsung-galaxy-note-3-review> adresinden alındı.
- Cisco. (2019). *Cisco Aironet 1552S Outdoor Access Point*. 16 Eylül 2024’te https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-1550-series/data_sheet_c78-711419.pdf adresinden alındı.
- Dargahi, T., Momeni, S., & Shafiei, H. (2017). *Post disaster resilient networks: design guidelines for rescue operations*. 16 Eylül 2024’te <https://svs.informatik.uni-hamburg.de/publications/2017/DaMS2017-iNetSec2017-talk.pdf> adresinden alındı.
- Design Manual. (2020). *Street lighting*. 16 Eylül 2024’te https://cdn-wordpress.webspec.cloud/intrans.iastate.edu/uploads/sites/15/2020/03/Chapter_11.pdf adresinden alındı.
- EFF Elektronik Sınır Vakfı. (2011). *Why We Need An Open Wireless Movement*. 16 Eylül 2024’te <https://www.eff.org/deeplinks/2011/04/open-wireless-movement> adresinden alındı.
- European Commission. (2009). *Commission welcomes industry's commitment to provide a common charger for mobile phones*. 16 Eylül 2024’te https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_09_1049 adresinden alındı.

- European Parliament. (2022, April 20). *USB-type C to become EU's common charger by end of 2024*. 16 Eylül 2024'te <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20220413STO27211/usb-type-c-to-become-eu-s-common-charger-by-end-of-2024> adresinden alındı.
- Flikkema, P. G., & Vigil-Hayes, M. (2017, December 11–14). *Self-adaptive and resilient urban networking infrastructure for disasters and smart city services* [Conference presentation]. IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Boston, USA.
- Hazra, K., Shah, V. K., Bilal, M., Silvestri, S., Das, S. K., Nandi, S., & Saha, S. (2019, January 7–11). *A novel network architecture for resource-constrained post-disaster environments* [Conference presentation]. 11th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS). Bengaluru, India.
- Hazra, K., Shah, V. K., Silvestri, S., Aggarwal, V., Das, S. K., Nandi, S., & Saha, S. (2020). Designing efficient communication infrastructure in post-disaster situations with limited availability of network resources. *Computer Communications*, 164, Article 5468. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.09.019>
- Helal, M. A., & Puckeridge, L. (1990). *Communication system for single point emergency lighting* (U.S. Patent No. 4,977,353). Patent and Trademark Office.
- Heltman. (2024). *Çok Fonksiyonlu Oksijen Konsantratörü*. 16 Eylül 2024'te <https://www.heltman.com.tr/urunler.php?id=20> adresinden alındı.
- Hinton, K., Baliga, J., Feng, M., Ayre, R., & Tucker, R. S. (2011). Power consumption and energy efficiency in the internet. *IEEE Network*, 25(2), 6–12.
- Huawei. (2024). *Scenario-based WLAN Planning Design for Stadiums*. 16 Eylül 2024'te <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100144761> adresinden alındı.
- İstanbul Planlama Ajansı. (2023, Şubat 25). *İstanbul Deprem Çalışma Grubu Toplantısı Özet Rapor*. 16 Eylül 2024'te <https://ipa.istanbul/wp-content/uploads/2023/03/DEPREM-CALISTAYI-OZET-RAPOR-WEB-2.pdf> adresinden alındı.
- İzmir Ekonomi Üniversitesi. (2020). *Depremde cep telefonları hayat kurtarıyor*. 16 Eylül 2024'te <https://ce.ieu.edu.tr/tr/news/type/read/id/7439> adresinden alındı.
- Jia, C., Zhang, C., Li, Y. F., & Li, Q. L. (2023). Joint pre-and post-disaster planning to enhance the resilience of critical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, 231, Article 109023. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.109023>
- Jones, H. (2021, July 12–15). *Going beyond reliability to robustness and resilience in space life support systems* [Conference presentation]. 50th International Conference on Environmental Systems, US.
- Ju, C., Yao, S., & Wang, P. (2017, November 26–28). *Resilient post-disaster system reconfiguration for multiple energy service restoration* [Conference presentation]. IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Beijing, China.
- Karaman, B., Basturk, I., Taskin, S., Kara, F., Zeydan, E., & Yanikomeroglu, H. (2024). Enhancing resiliency of integrated space-air-ground-sea networks with renewable energies: a use case after the 2023 Türkiye earthquake. *IEEE Communications Magazine*, 62(12), 104–111.
- Kobayashi, S., & Kakudate, M. (2014, November 5–7). *City lights to a disaster area-lighting installation of escape routes and the outdoor environment at the temporary architecture district* [Conference presentation]. 1st International Conference on Sustainable Lighting and Light Pollution, Seoul, Korea.
- Kuang, B., Sanni, T. O., Shi, Y., Liu, M., Shao, W., & Chen, J. (2023). Investigation of the importance of residential energy services in normal days and natural disasters. *Computing in Civil Engineering*, 2023, 944–952. <https://doi.org/10.1061/9780784485248.113>
- Lee, J., Aziz, A., Ma, S., Joe, I., & Choi, Y. (2015). The design and implementation of mesh-based dtn for disaster situations. In J.J. Park, H-C. Chao, H. Arabnia, & N. Y. Yen (Eds.), *Advanced multimedia and ubiquitous engineering: Future Information Technology* (pp. 211–216). Springer.
- Manimegalai, C. T., Kalimuthu, K., & Gauni, S. (2022). A research on bi-directional double clad optical fiber for 5G communication with multiband radio signal and power for disaster management in remote units. *Wireless Personal Communications*, 124(1), 475–488.
- Minguito, G., & Banluta, J. (2023). Resilient energy systems for disaster relief operations in the Philippines. *Journal of Asian Energy Studies*, 7, 48–61.
- Ngo, T., Nishiyama, H., Kato, N., Sakano, T., & Takahara, A. (2014). A spectrum-and energy-efficient scheme for improving the utilization of MDRU-based disaster resilient networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(5), 2027–2037.
- Noaman, D. S., & El-Ghafour, S. A. (2024). Holistic design of energy-efficient temporary houses: Meeting ventilation, heating, cooling, and lighting demands. *Journal of Building Engineering*, 86, Article 108534. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108534>
- Saha, S., Shah, V. K., Verma, R., Mandal, R., & Nandi, S. (2012, August 22). *Is it worth taking a planned approach to design ad hoc infrastructure for post disaster communication?* Seventh ACM international workshop on challenged networks, Istanbul, Turkey. <https://doi.org/10.1145/2348616.2348637>
- Shah, U. (2017). *Design of Disaster-Resilient Datacenter WDM Networks* [Master thesis, University of Windsor]. Electronic Theses and Dissertations. <https://scholar.uwindsor.ca/etd/7396>
- Shah, V. K., Roy, S., Silvestri, S., & Das, S. K. (2019, January 4–7). *Towards energy-efficient and robust disaster response networks*. [Conference presentation]. 20th International Conference on Distributed Computing and Networking, Bangalore, India.
- Shakir, U. (2023). *A history of Apple making us buy new cables*. 16 Eylül 2024'te <https://www.theverge.com/2023/9/12/23859659/apple-cable-history-iphone-15-usb-c-lightning-mac-thunderbolt> adresinden alındı.
- Smith, N., Donaldson, M., Mitton, C., & Lee, E. (2024). Communication in disasters to support families with children with medical complexity and special healthcare needs: a rapid scoping review. *Frontiers in public health*, 12, Article 1229738. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1229738>
- Takano, H., Hisano, D., Nakahara, M., Suzuoki, K., Maruta, K., Onodera, Y., ... & Nakayama, Y. (2021, April 25–28). *Visible light communication on LED-equipped drone and object-detecting camera for post-disaster monitoring* [Conference presentation]. IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), Helsinki, Finland.
- Tan, H., & Hao, Y. (2022). Mapping the global evolution and research directions of information seeking, sharing and communication in disasters: a bibliometric study. *International journal of environmental research and public health*, 19(22), Article 14878. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214878>

- Tanyaş, M., Aksoy, L., Dökmeci, H., Günalay, Y., & Küçük, B. (2014). Elektrik dağıtım şebekesi afet planlaması ilkeleri. *Ekonomik, Toplumsal ve Siyasi Analiz Dergisi*, II(4), 85–96.
- Thulstrup, A., & Joshi, I. (2017). *Energy access: building resilience in acute and protracted crises* (WB no: 115061). World Bank Group.
- Wen, J., Hu, Q., Lin, Z., & Xiao, K. (2018, October 13–15). *The Design and Research of the Pole Damage Prevention Device of Distribution Lines in Meteorological Disasters* [Conference presentation]. 2017 International Conference on Mechanical Design (ICMD2017), Beijing, China.
- Wikipedia. (2024). *Quick Charge*. 16 Eylül 2024'te https://en.wikipedia.org/wiki/Quick_Charge adresinden alındı.
- World Health Organization. (2010). *Fact sheet on wheelchairs*. 16 Eylül 2024'te <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/205041/B4616.pdf> adresinden alındı.
- Xiao, C., & Asiri, S. (2022, April 18–20). *A low-power, machine learning-based optical communications system for disaster relief* [Conference presentation]. 2022 ACM Southeast Conference (ACMSE '22), New York, United States.
- Yeditepe Üniversitesi Hastaneleri. (2019). *Depremde çanta değil, yaşam üçgeni kurtarır*. 16 Eylül 2024'te <https://yeditepehastaneleri.com/saglik-rehberi/saglik-yasam/depremde-canta-degil-yasam-ucgeni-kurtarir> adresinden alındı.