



## Nesnelerin İnterneti (IoT)

### Internet of Things (IoT)

Erdal Erdal<sup>1</sup> , Atilla Ergüzen<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

**Başvuru/Received:** 19/10/2020

**Kabul / Accepted:** 29/11/2020

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2020

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2020

#### Öz

İnternet kavramı insan hayatına girdiği günden bu yana kabul görmüştür ancak yaşanan teknolojik gelişmeler ile internet IoT kavramı olarak karşımıza çıkmıştır. Özellikle son yıllarda popülerliği artan ve seçkin araştırmacılar tarafından tercih edilen IoT; nesnelerin internete bağlanması ile yönetilmesi, kontrol edilmesi, veri aktarımı yapması gibi temel fonksiyonlara sahiptir. Ancak IoT'nin farklı alanlara uygulanması günden güne beklentiyi artırmıştır. Bu çalışma kapsamında; IoT alanında detaylı literatür incelemesi yapılmış ve gelinen son nokta belirlenmiştir, IoT kavramının temel hedefi ve kavramı değerlendirilmiştir, geçmişten günümüze gelişimi incelenmiştir, internetin IoT'ye evrimi ve adımları detaylı olarak incelenmiştir, IoT'de kullanılan iletişim ve alt yapı teknolojileri detaylandırılmış ve açıklanmıştır, IoT uygulama alanları ve kullanım amaçları detaylı araştırılmıştır, ayrıca IoT'de açık sorunlar, zorluklar ve gelecekteki araştırma yönergeleri tanımlanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*“İnternet, Nesnelerin İnterneti, IoT”*

#### Abstract

The concept of internet has been accepted since the day it is part of a human life, but with the technological developments experienced, it has emerged as the IoT concept. IoT, which has gained popularity in recent years and is preferred by prominent researchers; It has basic functions on objects by connecting to the internet such as managing, controlling, and transferring data. However, the application of IoT to different areas has increased day by day. This scope of work; a detailed literature review has been made in the field of IoT and the final point has been determined, the basic goal and concept of the IoT concept has been evaluated, its development from the past to the present has been examined, the evolution and steps of the Internet to IoT have been examined in detail, the communication and infrastructure technologies used in IoT are detailed and explained, The application areas and uses are investigated in detail, as well as clear issues, challenges and future research directions in IoT are identified.

#### Key Words

*“Internet, Internet of Things, IoT”*

## 1. Giriş

İnternetin hayatımıza etkisi ve internet teriminin insanlık için ifade ettiği anlam özellikle son birkaç yıldır daha da anlam kazanmıştır. Öyle ki internetin hayatımıza daha ne kadar gireceği ve vazgeçilmez noktalara geldiği ve hatta en uygun kullanımının belirlenmesi konusunda dahi araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İnternetin ve internet alt yapısının gelişmesi, teknolojinin bu gelişmeye verdiği cevap ve insanların yaklaşımı ile günümüzde internet terimi geçmiş yıllardaki tanımından çok farklı noktalara gelmiştir. Bugün artık internet yalnız başına bir kavram olmaktan çıkmış ve nesnelere ilişkilendirilerek nesnelere interneti (internet-of-things – IoT) kavramı ortaya atılmıştır. Bu kavramın adından da tahmin edilebileceği üzere nesnelere Radyo Frekans Tanımlama (Radio-frequency identification, RFID), Kablosuz Sensör Ağları (Wireless sensor network, WSN), Bluetooth, Yakın Alan İletişimi (Near-field communication, NFC), Uzun Süreli Evrim (Long-Term Evolution, LTE) ve daha çeşitli akıllı iletişim araçları üzerinden internete erişim sağlamasıdır. Buradan elde edilen çıkarım ile IoT kavramı aslında “internet üzerinden ilişkilendirilen şeyler/nesnelere” olarak tanımlanması yanlış olmayacaktır.

İnternet ve nesnelere bir araya getirildiği bu kavram ve ortaklık ile internet erişimine sahip nesnelere topladıkları bilgileri kaynağı nesnelere hedef noktaya taşınması ve aktarılması mümkün olmaktadır. Bu çalışmanın amacı böylesine geniş, kapsamlı ve karmaşık bir dünyada IoT kavramının geçmişten günümüze nasıl geldiğini tanımlamak, IoT tanımına ve kavramına bir açıklık getirmek ve yapılan çalışmaları incelemek ve gelecekte IoT üzerine oluşması muhtemel tahmin, öngörü ve açık konuları belirlemek için yazılmıştır.

## 2. Motivasyon

Literatürde geçmişten günümüze kadar IoT kavramı ve tanımı üzerine seçkin araştırmacılar tarafından çok fazla araştırma ve literatür araştırması çalışmaları yapılmıştır. Ancak bilişim çağının yaşandığı bugünlerde teknoloji durağan olmadığı gibi günden güne farklı gelişmeler ile karşımıza çıkmaktadır. Bu anlamda, sürekli yaşanan teknolojik gelişmeler, IoT kavramı üzerinde oluşan ve her geçen gün artan beklentiler araştırmacıları sürekli araştırmaya, sürekli taramaya ve yeni kriterler belirlemeye zorlamakta ve motive etmektedir. Öyle ki, günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ile henüz 10 yıl önceye kadar henüz tanışmadığımız büyük veri, bulut bilişim, IoT, kenar bilişim, sis bilişim gibi kavramlar hayatımıza girmiştir. Bu cümlede yapılan hayatımıza girmiştir tanımı yalnız literatür yaklaşımını değil evimize ve iş hayatımıza olmak üzere hayatımızın parçaları olması açısından da yapılmıştır.

IoT kavramının temel yaklaşımı değerlendirildiğinde ve detaylı olarak düşünüldüğünde, IoT kavramının kullanıldığı mevcut vizyonunun ve konseptlerinin ve yeteneklerinin gözden geçirilmeye ve tekrar değerlendirilmeye ihtiyacı vardır.

Bu çalışma kapsamında;

- 1- Geçmişten günümüze kadar yapılmış literatür çalışmaları listelenmiştir,
- 2- IoT kavramına genel bir bakış yapılmıştır,
- 3- İnternetin IoT'ye evrimi tanımlanmıştır,
- 4- IoT'nin hedefleri tanımlanmıştır,
- 5- Günümüz IoT'de kullanılan iletişim teknolojileri belirlenmiştir,
- 6- IoT uygulamaları araştırılmıştır,
- 7- IoT kavramında yer alan açık sorunlar, zorluklar ve gelecekteki araştırma yönergeleri tanımlanmıştır.

Yapılan çalışma ile IoT kavramı üzerine kolay bir yaklaşım isteyen, temel yaklaşım ve kavramı anlamak isteyen araştırmacılara yardım etmek ve gelecek çalışmalarında tüm araştırmacılar bir ışık tutmayı amaçlamaktadır.

## 3. Literatür Araştırmaları

IoT üzerine yapılan literatür çalışmaları yapılmıştır, bu çalışmalar ve hedefleri Tablo 1'de detaylı olarak sunulmuştur.

**Tablo 1.** IoT Literatür Çalışmalar

Çalışma Adı	Alıntı referansı	Vurgulanan / ele alınan konu
The Internet of Things: A survey	(Atzori, Iera, and Morabito 2010)	IoT uygulamalarıyla birlikte etkinleştiren teknolojileri ve IoT alanında karşılaşılan açık sorunları ele almıştır.
A survey on Internet of Things	(Agrawal and Vieira 2013)	Daha geniş bir IoT bağlamında bir makale sundu ve temel olarak çeşitli teknolojilerdeki bütünleşme faktörlerini etkinleştirmiştir. Ayrıca, IoT'nin uygulanmasında yer alan temel teknolojiler ve ana uygulama alanı tartışılmıştır.

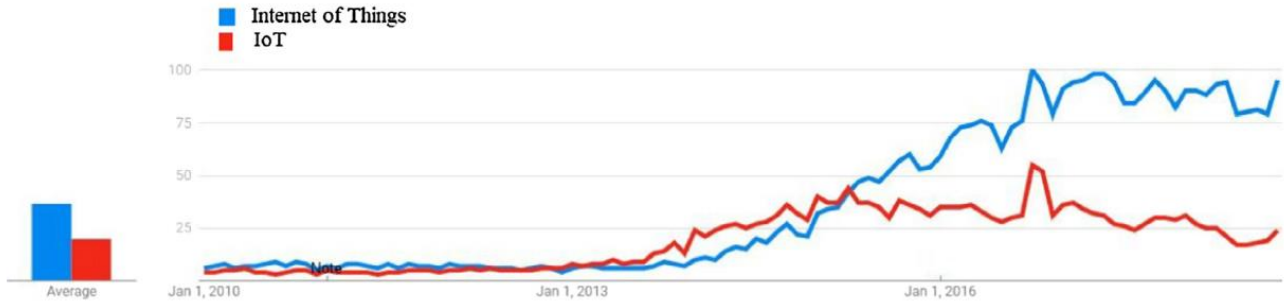
**Tablo 1 (devam).** IoT Literatür Çalışmalar

Çalışma Adı	Alıntı referansı	Vurgulanan / ele alınan konu
Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions	(Gubbi et al. 2013)	Teknolojik araştırma topluluğuna yönelik WSN, dağıtılmış bilgi işlem ve İnternet'in yakınsama gereksinimini artırarak IoT vizyonunu sunmuştur.
Towards internet of things: Survey and future vision	(Said and Masud 2013)	Vurgulanan mimariler, yeniçağ uygulamaları ve IoT'nin karşılaştığı zorluklar tanımlanmıştır.
Context aware computing for the internet of things: A survey	(Perera et al. 2014)	IoT alanında son on yılda sensör dağıtımlarının önemli artışını tartışmıştır.
Internet of Things (IoT): A Literature Review	(Madakam, Ramaswamy, and Tripathi 2015)	IoT'nin temel gereksinimlerini, özelliklerini ve takma adlarını vurgulanmıştır. Çalışma ayrıca IoT'nin günlük hayatımızdaki kullanımlarını da vurgulanmıştır.
Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications	(Al-Fuqaha et al. 2015)	IoT alanındaki protokoller, etkinleştirme teknolojileri ve çok sayıda uygulama sorunu üzerinde durulmuştur. Çalışma ayrıca IoT'nin mimarisini çeşitli unsurlar ve iletişim teknikleriyle birlikte tasvir etmektedir. Son olarak, çalışma ayrıca IoT alanında karşılaşılan zorlukları da vurgulanmıştır.
The Internet of Things—A survey of topics and trends	(Whitmore, Agarwal, and Da Xu 2015)	IoT'nin tanımlama tekniklerini, algılama teknolojilerini, ağ oluşturma ve işleme yeteneklerini vurgulanmıştır.
Internet of Flying Things (IoFT): A Survey	Internet of Flying Things (IoFT): A survey	IoT kavramı ve İnsansız Hava Araçları (İHA) üzerine daha özel bir araştırma yapılmıştır.
A survey on privacy and security of Internet of Things	(Ogonji, Okeyo, and Wafula 2020)	Makale, IoT gizliliği ve güvenliğindeki en son gelişmeleri özetler, açık sorunları vurgular ve daha fazla araştırma yapılması gereken alanları belirler.
Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential	(Villa-Henriksen et al. 2020)	Bu inceleme, ekilebilir tarımda Nesnelerin İnternetinin mevcut ve potansiyel uygulamasının analitik bir incelemesini ele almaktadır. İnceleme, kullanılan en son teknolojilere genel bir bakış sağlar. Mevcut ve potansiyel uygulamaların bir taslağını sağlar ve zorlukları ve olası çözümleri ve uygulamaları tartışır. Son olarak, ekilebilir tarımda Nesnelerin İnterneti için bazı gelecek yönergeleri sunar.

Tablo 1'de yer alan IoT üzerine yapılmış literatür araştırmaları da göstermektedir ki IoT alanında yapılan araştırma faaliyetleri ve ilerlemeler yıllar boyunca ısrarla artmıştır.

#### 4. IoT: Genel bir bakış

IoT kavramının incelenmesinden hemen önce IoT trendinin gözlemlenmesi ve belirlenmesi bu kavramının ve öneminin daha net anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. İki farklı paradigmanın yani Internet of Things ve IoT'nin popülaritesi, zaman zaman değişiklik göstermiştir. Yukarıda belirtilen iki terim için son 10 yıldaki Google Arama Trendleri tarafından Dünya genelinde ölçülen web araması popülarlığı Şekil 1'de sunulmuştur.

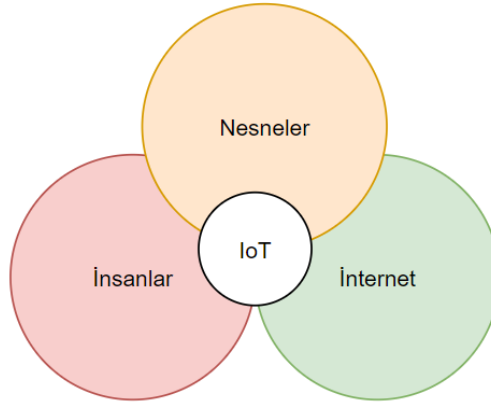


Şekil 1. Son 10 yıl için " Internet of Things" ve "IoT" anahtar kelimeleri için Google Arama Trendler yanıtı.

Henüz birkaç 10 yıla öncesine kadar iletişim, telefon hatları üzerinden sesle veya mektuplar ile sınırlı kurulabiliyordu. Bu zaman aralığında internet doğdu ve insanlığa dünya genelinde iletişim için yeni bir platformu sağladı. Böylece ses iletişimi için internet protokolü üzerinden ses (Voice over Internet Protocol - VoIP) kavramı hayatımıza girdi. Ancak öyle ki dünya için çok çok kısa sayılacak böylesine bir zaman aralığında internet kavramı dahi geride kalmış ve IoT kavramı hayatımıza yerleşmiştir.

IoT konseptinin hayatımıza girişi 1990'ların başında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) Auto-ID laboratuvarlarında önerilmiştir. Ancak ilk IoT uygulaması olan "Trojan Room coffee pot" 1999 yılında geliştirilmiştir (Jia et al. 2012). Yine aynı yıl, dünyanın ilk İnternet kontrollü cihazı, uzaktan açılabilen bir ekme kızırtma makinesi geliştirilmiştir (Welbourne et al. 2009).

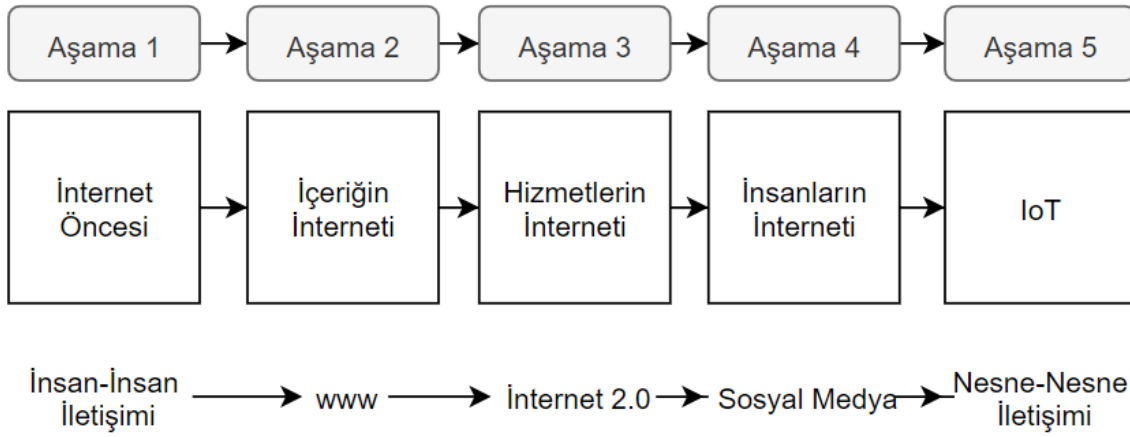
Ancak IoT dediğimiz kavram günümüzde Nesne, İnsan ve İnternet kavramlarının tam ortasında yer almaktadır, Şekil 2'de IoT'nin bu üç kavram arasındaki ilişkisini gösterilmiştir.



Şekil 2. IoT kavramsal ilişkisi.

Elbette teknoloji bir anda bugünkü konumuna gelmedi, gündün güne gelişmeler ile beraber yeni terimler hayatımıza girdi ve her defasında bir sonraki adım insanlık tarafından insanlığın hizmetine sunuldu. Bu noktada teknolojik gelişmelerin aşamalara ayrılması ve o şekilde değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

İlk aşama internet öncesi dönem olarak isimlendirilebilir, bu dönemde iletişim sabit telefon hatları ve kısa mesajlar üzerinden sağlanmaktadır. Bu aşama ile dünya mobil cihazlar ile tanışmış ve iletişim ortamı telefon cihazlarına doğru geçiş yapmıştır. İkinci aşama ise internetin içeriği aşamasıdır. Bu aşama ile bir önceki aşamaya göre daha büyük boyutlu mesajlar, posta ekleri gibi kavramlar hayatımıza girmiştir. Üçüncü aşamada ise hizmetlerin interneti aşamasıdır, bu noktada e-üretim, e-ticaret gibi uygulamalar hayatımıza girmiştir. Dördüncü aşama ise insanların interneti olarak tanımlanmıştır, sosyal medya, instagram, Skype ve youtube gibi uygulamalar bu aşamada yer almaktadır. Ancak bugün yaşadığımız ve devam eden dönem IoT olarak isimlendirilmektedir. Bu dönemde cihazlar internete bağlanma, kendi aralarında iletişim kurma, veri aktarımı gibi yeteneklere sahiptir. Tüm aşamalar ve bu aşamalarda yaşanan gelişmeler Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. İoT'ye Dönüşüm Aşamaları.

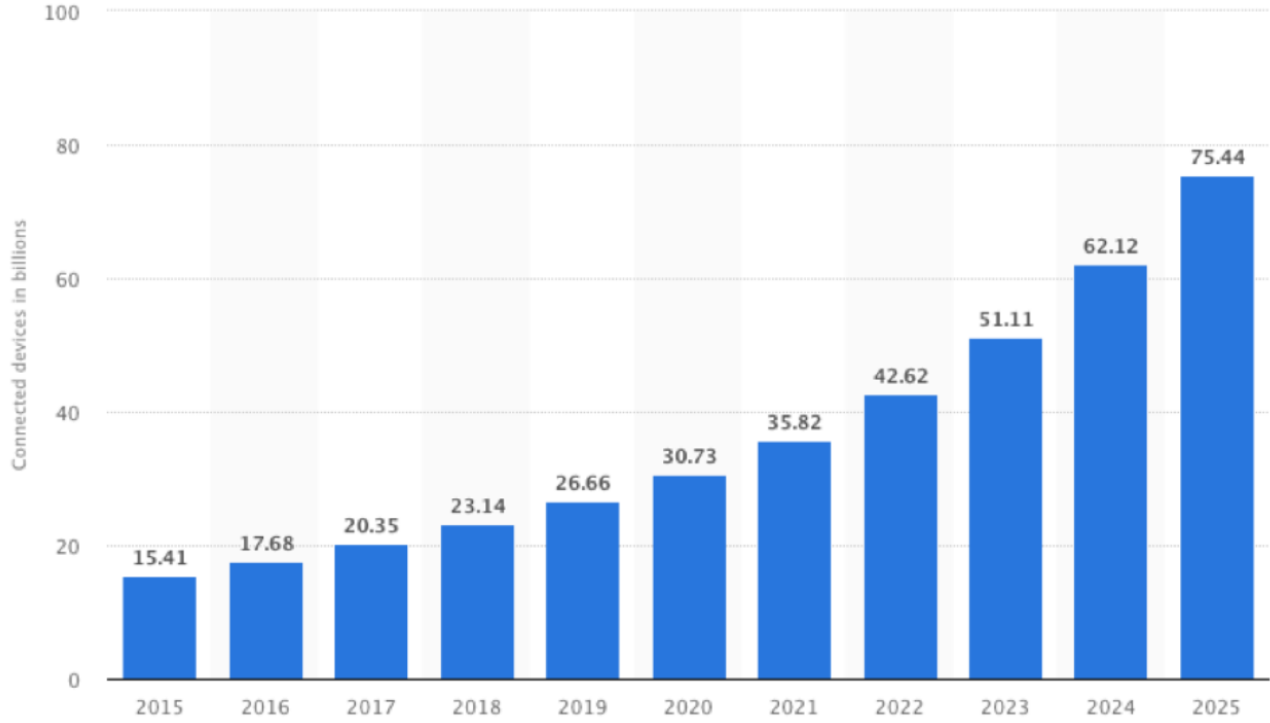
## 5. İoT Evrimi

Gelişen teknoloji ile insan ihtiyaçları ve teknolojiye bakış açıları da değişti ve artık internet iletişim açısından vazgeçilmez bir araç olarak tanımlanmaya başladı. Bugün artık klasik internetten milyarlarca cihazın kontrol edildiği bir platforma doğru evrilmiştir. Bu cihazlar barındırdıkları sensörlerden elde ettikleri bağlı oldukları internete büyük veriler üretir. Bugüne kadar 5 milyarın üzerinde internete bağlı akıllı cihaz kurulmuştur. Bulduğumuz on yılın sonuna doğru İoT'nin değerinin 300 milyar doların üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. Ancak İoT'nin zaman üzerindeki gelişimini anlamadan işlevini ve bize kazandırdığı yetenekleri değerlendirmek doğru olmayacaktır. Bu sebeple geçmişten günümüze İoT evrimi Tablo 2'de düzenlenmiştir.

**Tablo 2.** İoT Evrimi (Abou-Zahra, Brewer, and Cooper 2017; Evans 2013; González, Organero, and Kloos 2008; Hodges et al. 2013; Juels, Rivest, and Szyldo 2003; Khanna and Kaur 2020; Ma 2011; Meddeb 2016; Medeiros and Fravel 2003; Santucci 2010; Shajahan and Anand 2013; Tso et al. 2013; Weber and Weber 2010; Wilkinson 2014)

Yıl	Gelişme
1999	İoT terimi ilk olarak MIT Labs'ta ortaya çıktı Trojan Room Coffee Pot, geliştirilen ilk İoT uygulamasıydı
2000	LG ilk buzdolabının İnterneti planlarını duyurdu
2003	RFID'nin ilk ticari dağıtımı yapıldı
2005	Bir grup şirket, İoT'yi etkinleştirmek için "Akıllı Nesnelere" ağlarında IP kullanımını teşvik etmek için IPSO Alliance'ı başlattı Uluslararası telekomünikasyon Birliği (ITU) ilk İoT raporu
2008	İoT, Avrupa Birliği (AB) tarafından tanındı
2010	Çin başbakanı Wen Jiabao, İoT'nin Çin için kilit endüstri olduğunu belirtti
2011	İoT-Global Standartlar Girişimi (İoT-GSI) kuruldu
2012	IBM, Ericsson ve Cisco, İoT konusunda büyük ölçekli eğitim ve pazarlama girişimleri geliştirmeye başladı
2013	Raspberry pi, Arduino ve diğer donanım platformları geliştirildi ve İoT'yi erişilebilir hale getirilmeye başlanmıştır
2014	Drone, RFID gibi 3. parti cihazların kullanımı yoğun bir şekilde İoT ile birleştirildi

İoT kavramı hayatımıza girdiği günden bu yana hem akademik hem de endüstriyel sektörde ilgi alanı olmuştur ve halen çeşitli cihazların internet ile ilişkilendirilmesi ve geliştirilmesi konularında çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Akıllı mobilite, akıllı binalar, akıllı şehirler, kamu güvenliği, sağlık, tıp ve tarım gibi konularda İoT çalışmaları yoğun olarak tercih edilmektedir. Şekil 3'te yıllar bazında internete bağlı cihaz sayıları ve gelecek yıllarda bağlı bulunacak cihaz tahmin sayıları yer almaktadır.



Şekil 3. İnternet üzerinden ilişkilendirilen cihaz sayısındaki tahmin (2015–2025) (Vinnter n.d.).

## 6. IoT Hedefleri

IoT, nesnelerin Evrensel Entegrasyonu ile ilgili olduğundan Servis Odaklı Mimari (SOA) aracılığıyla bunların birlikte çalışabilirliğini sağlamak üzere kurgulanmıştır. IoT, aşağıdaki hedeflere ulaşmayı amaçlamaktadır:

1. IPv4 teknolojisinden IPv6 teknolojisine geçiş ile IoT'nin geleceğini desteklemek ve mevcut parçalanma sorunlarının çözülmesi hedeflenmektedir,
2. IPv6 tabanlı SOA geliştirilmesi bu sayede homojen olmayan uygulamalar, bileşenler ve hizmetleri arasında yer bağımsız, birlikte çalışabilirlik, bulut entegrasyonu ve veri dağıtımı gibi konuların sağlanması,
3. Aşağıda yer alan yenilikçi etkileşim biçimlerini keşfetme becerisine sahip olmak üzere:
  - 3.1. Çok protokollü entegrasyon,
  - 3.2. Heterojen cihazlarla kendi kendine birlikte çalışabilirlik,
  - 3.3. IaaS, PaaS ve SaaS dahil olmak üzere Bulut Bilişim Hizmetleri,
  - 3.4. RFID etiketlerinin ve diğer ilgili hizmetlerin kendi kendini tanımlaması,
  - 3.5. Akıllı dağıtım sistemleri.

## 7. IoT'nin İletişim Teknolojileri

Teknolojik gelişmeler ile günümüzde çok fazla sayıda bağlantı seçenekleri bulunmaktadır. Bunlar, IoT ile ilişkili ürün ve sistemlere dayanmaktadır. IoT alt yapısında kullanılan temel iletişim teknolojileri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. IoT İletişim Teknolojileri

Sıra	Teknoloji	Açıklamalar
1	RFID	RFID sistemi; okuyucu ve RFID etiketlerinden oluşmaktadır. RFID etiketleri, belirli bir adresle karakterize edilir ve nesnelere uygulanır. RFID verileri aktarmak için radyo frekansı elektromanyetik alanları kullanırlar. Bu etiketler, nesne okuyucunun yakınına geldiğinde RFID okuyucu tarafından okunabilen elektronik olarak saklanan bilgilerle gömülüdür (Duan and Cao 2020). RFID, görüş alanında olmaya gerek kalmadan nesnelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak tanır bu nedenle IoT konusunda en yoğun kullanılan ve tercih edilen iletişim yöntemlerindedir.

**Tablo 3 (devam).** IoT İletişim Teknolojileri

Sıra	Teknoloji	Açıklamalar
2	IEEE 802.15.4	Düşük Hızlı Kablosuz Kişisel Alan Ağları (LR-WPAN'lar) için fiziksel katman ve ortam erişim kontrolünü belirleyen bir iletişim yöntemi ve bir standarttır (Rodrigues et al. 2013).
3	Z-Wave	Z-Wave, Ev Otomasyon Ağları için düşük güçlü bir kablosuz iletişim protokolüdür. Akıllı evler için uzaktan kumanda uygulamalarında ve küçük boyutlu ticari alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. IoT'nin en sık kullanıldığı alanlardan olan akıllı ev tasarımlarında sıklıkla tercih edilmektedir.
4	LTE	Günümüzde vazgeçilmez hale gelen ağ teknolojilerine dayalı olarak cep telefonları arasında yüksek hızlı veri aktarımı için standart bir kablosuz iletişim protokolü LTE; Mobil İletişim için Küresel Sistem (GSM) ağ teknolojilerine dayalı kablosuz iletişim protokolüdür. Maksimum 100 MHz'e kadar destekler. Veri indirme ve yükleme genellikle tüm süreçte daha düşük ve daha yüksek gecikme oranıyla karşılaşır (Doppler et al. 2009).
5	LoRa	LoRa, Grenoble Cycleo tarafından geliştirilen ve esas olarak kırsal, uzak ve aynı zamanda kırsal alanlarda kullanılan çeşitli IoT cihazları için uzun menzilli bağlantıda kullanılır. Ayrıca tedarik zinciri yönetimi, kıtalararası lojistik, madencilik, doğal kaynak yönetimi gibi çeşitli uygulamalarda da kullanılmaktadır (Centenaro et al. 2016).
6	NFC	NFC, RFID'ye yapısal ve mantıksal olarak çok benzemektedir. RFID okuyucunun bir cep telefonuna entegre edilmesi olarak düşünülebilir. NFC aynı zamanda mobil cihazlarda iki cihaz tarafından etkinleştirilen bir tür radyo iletişim cihazı olarak da değerlendirilebilir (Bravo et al. n.d.). NFC, uzak konumlardan yapılamayacağından, güvenli olan iki akıllı nesne arasında iletişim sağlar ve bu nedenle IoT'nin gelişimine ve kullanımına katkı sağlamaktadır (He, Kumar, and Lee 2015).
7	UWB	UWB iletişim teknolojisi de NFC'ye benzeyen düşük enerji kullanan ancak düşük kapsama alanları içindeki iletişimi destekleyen bir yaklaşıma sahiptir.
8	M2M	M2M iletişim teknolojisi; bilgisayarlar, akıllı sensörler veya mobil cihazlar arasındaki iletişimi ifade etmektedir (Geng Wu et al. 2011).
9	6LoWPAN (IPv6 Low-power Wireless Personal Area Network)	6LoWPAN'dır ağ protokolü, kapsülleme ve sıkıştırma mekanizmalarını tanımlar. Protokol, frekans bandı ve fiziksel katman özgürlüğüne sahiptir ve Wi-Fi ve IEEE 802.15.4 dahil olmak üzere çoklu iletişim platformlarında da kullanılabilir. Bu standart, karmaşık kontrol sistemlerini kontrol etmek ve cihazlarla düşük güçlü kablosuz ağ altyapısı aracılığıyla uygun maliyetli bir şekilde iletişim kurmak için temel bir taşıma mekanizması sağladığı ev veya bina otomasyon sistemleri için özel olarak tasarlanmıştır.

Kullanılan iletişim teknolojileri genel olarak açıklanmış ve IoT'de kullanılan iletişim teknolojileri ve teknik özellikleri Tablo 4'te karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

**Tablo 4.** IoT İletişim Teknolojileri Teknik Özellikleri (Al-Sarawi et al. 2017; Lea 2018)

Teknoloji	Standart	Keşif Yılı	Aşağı/Yukarı Bağlantı	Menzil (m)	Çalışma frekansı (MHz)
RFID	Wireless	1973	100 Kbps	2	0.125–5876
IEEE 802.15.4	6LoWPAN	2003	250 Kbps	30	826 & 915
Z-Wave	Wireless	2013	100 kbit/s	30	868.42 & 908.42
LTE	3GPP, LTE and 4G	1991	100 Mbps	35	400–1900
LoRa	Wireless	2012	0.3 37.5 (kb/s)	3000-5000	169, 433 & 868 (Avrupa) & 915 (Kuzey Amerika)
NFC	ISO 18092	2004	106, 212 - 424 Kbits	<0.2	13.56
UBW	IEEE 802.15.3	2002	11–55 Mbps	10-30	2400
M2M	Tüm iletişim protokollerine açık	1973	50–150 Mbps	5-20	1–20
6LoWPAN	Wireless	2006	250 Kbps	30	915

## 8. IoT Uygulamaları

İnternet kavramının günümüz teknolojileri ile evrim geçirerek hayatımıza girdiği alan IoT olmuştur. Öyle ki henüz şimdiden hayatımızı etkileyecek alanlarda kendisine yer edinmiştir. Yapılan bir çalışmada gerçek 1600 IoT projesi değerlendirilmiş ve IoT'nin en yoğun kullanıldığı 10 alan belirlenmiştir (Scully 2018). Yapılan çalışma sonucu elde edilen alanlar ve genel projeler arasındaki konumu Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** IoT Projeleri ve Alanları (Scully 2018)

Sıra	IoT Alan	Oran
1	Akıllı Şehir	%23
2	Bağlı Endüstri	%17
3	Bağlı Bina	%12
4	Bağlı Araba	%11
5	Akıllı Enerji	%10
6	Diğer	%8
7	Bağlı Sağlık	%6
8	Akıllı Tedarik Zinciri	%5
9	Akıllı Tarım	%4
10	Akıllı Perakende	%4

Tablo 4'te görüldüğü üzere IoT uygulamalarında en büyük pasta payını akıllı şehirler almıştır. Bu büyümenin temelinde Dünya genelinde devletlerin ve hükümetlerin akıllı şehirlere yatırım yapmak istemeleri yer almaktadır. Akıllı şehirler günümüzde; trafik izleme ve kontrol, bisiklet gibi ulaşım araçlarının paylaşımı, akıllı otobüs ve taksi şeritleri, akıllı park sistemleri gibi projeleri barındırmaktadır. Bu alanda sırasıyla Avrupa ve Amerika önde gelen hedef noktalarıdır ayrıca akıllı şehirler kavramı gitgide yükselen bir trend göstermektedir. Akıllı şehirlerin ardından Bağlı Endüstri kavramı %17 ile ikinci sırada yer almaktadır. Bu kavram içerisinde fabrika içerisinde ve dışında olmak üzere çok farklı nesneyi kapsamaktadır. Bu kavramın önde gelen uygulaması fabrika dışı ortamda ekipman ve envanter izlenmesidir. Bu alanda Amerika önde gelen ülkeler arasındadır. Listenin 3. Sırasında yer alan bağlı bina kavramı içerisinde akıllı binalar, bina güvenliği ve iklimlendirme sistemleri yer alsa da son döneminde enerji maliyetlerinin düşürülmesi hedefi odak noktada olduğu görülmüştür. Bağlı araba kavramı her ne kadar %11 payı ile listenin 4. Sırasında yer alsa da en ciddi artışı yaşayan kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kavram kapsamında araçların gerçek zamanlı izlenmesi, sensör okumaların izlenmesi ve araçların uzaktan yönetilmesi yer almaktadır. Görüldüğü üzere IoT kavramı ve uygulamaları her geçen gün hayatımıza daha fazla entegre olmaya ve hayatımızı kolaylaştırmaya başlamıştır.

## 9. IoT Açık Sorunlar, Zorluklar ve Gelecekteki Araştırmalar

Son yıllarda elde ettiği başarı ve yükselişe bakılmaksızın her kavramda olduğu gibi IoT kavramı da bünyesinde performans ve yönetim açılarından bazı temel ve kavramsal sorunlar barındırmaktadır. Bu nedenle Tablo 6'te sunulan açık konulara cevap verilmesi ve çözüm üretilmesi gerekmektedir.

**Tablo 6.** IoT Açık Konular

Sıra	Açık Konu	Açıklama
1	Kullanılabilirlik	IoT sunduğu hizmetlerin yanı sıra her yerden her zaman erişilebilir olması gereklidir. IoT yalnızca bir yazılım kavramından ibaret değildir donanım parçaları da aynı derecede öneme sahiptir ve IPv6 gibi protokolleri desteklemektedir.
2	Güvenilirlik	Güvenlik günümüz bilgisayar sistemlerinde olduğu gibi IoT kavramında da en sık aranan ve tartışılan konudur. IoT'nin donanım ve yazılım birimleri üzerinde kontrol sağlaması gerekmektedir. Sistem arızaları bir yana izinsiz girişlerden kaynaklanması muhtemel bir eksiklik bu sistem için en büyük tehditlerden birisidir.
3	Hareketlilik	Günümüz uygulamalarının çoğu mobil arayüzler üzerine geliştirildiğinden hareketliliğin sağlanması IoT için bir zorluktur.
4	Veri gizliliği	IoT alanında bulunan bir diğer zorluk veri gizliliğidir. Kaynaktan hedefe taşınan tüm veriler internet ortamında taşındığından veri güvenliği için her parametre detaylı şekilde incelenmeli ve yönetilmelidir.



**Tablo 6 (devam).** IoT Açık Konular

Sıra	Açık Konu	Açıklama
5	Ağ yönetimi ve kaynakları	IoT'nin de temelini oluşturan cihazların internete bağlanması önümüzdeki yıllarda da artarak devam edeceğinden çeşitli ağlar üzerinden çok sayıda cihazı yönetmek ve bu cihazlara ait kaynakları yönetmek bir diğer zorluk olacaktır.
6	Ölçeklenebilirlik	IoT ile internete bağlanacak cihaz sayısında büyük artış oluşmaktadır ve artarak devam edecektir. Mevcut alt yapının üzerinde çalışan güncel cihazlar etkilenmeden yeni cihaz eklenebilir hale gelmesi gerekmektedir. Bu da aslında alt yapı açısından IoT'nin karşılaştacağı zorlu aşamalardan bir tanesidir.
7	Birlikte çalışabilirlik	Günümüzde kullanılan birçok cihaz IoT ile internete bağlanacaktır ve heterojen çok sayıda cihaz ve farklı platformlar arasında entegrasyon ve senkronizasyon gerekecektir. Bu nedenle birlikte çalışabilirlik IoT üzerinde baskı oluşturan bir diğer kavramdır.
8	Güvenlik ve gizlilik	IoT kavramı ile internet üzerinden bilgi iletimi hayatımıza girdiğinden veri güvenliği bu alandaki en önemli kriterlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.
9	Standardizasyon süreci	IoT konusunda tüm donanım ve yazılım firmalarının uygulayacağı yönerge ve disipline yanı standardizasyona ihtiyaç bulunmaktadır.

Ayrıca IoT kavramının henüz yeni sayılabilecek bir teknolojik gelişme olması sebebiyle aşılması gereken bazı sorunları ve zorlukları da bulunmaktadır. Bu sorunlar ve zorluklar liste halinde sunulmuştur.

- 1- IoT Mimarisinin tam olarak anlaşılması: SOA'daki en büyük zorluk hizmet sağlayıcılarının ve alıcılarının birbirleriyle anlamlı bir şekilde iletişim kurmalarını zorunlu hale getirmektir.
- 2- İletişim ara yüzünü oluşturmak için doğru teknolojinin belirlenmesi: Bu noktada zorluk, bir varlıkla benzersiz bir tanımlayıcı eşlemektir öyle ki belirsizlik olmadan tanımlanabilir ve geri alınabilir durumda olsun.
- 3- Verimli iletişim ara yüzünün oluşturulması: İyi yönlendirilmiş bir iletişim kurmak istenildiğinde cihazların nesnelere uygun yerleştirilmesi, kısıtlamasız iletişim ortamı, maliyet ve iletişim modeli gibi temel kavramlarda sorunlar yaşanmaktadır.
- 4- Ağ teknolojisinin doğru belirlenmesi: Fiziksel nesnelere erişmek ve onları internet ortamına taşımak için doğru ağ teknolojisinin belirlenmesi.

Günümüz IoT kavramı cihazların internet üzerinden eşlenmesi, veri aktarılması ve yönetilmesi etrafında konumlandırılmıştır. Doğru teknolojilerin tanımlanmasına ilişkin yapılan çalışmalara (Khan et al. 2012) dayalı olarak IoT'de karşılaşılan en temel sorunlar aşağıda listelenmiştir.

- Kesintisiz ağ bağlantısı.
- Kesintisiz operasyonel hizmet.
- Birbirine taşınabilirlik.
- Bilgi Gizliliği.
- Nesnelerin fiziksel güvenliği.
- Veri gizliliği.
- Veri şifreleme.

Çalışma kapsamında da görüldüğü üzere IoT kavramı son yıllarda uzun yol almıştır ve gelecek vadetmektedir. Sürekli artan IoT talepleri düşünüldüğünde gelecekte yapılması gereken çalışmalar ve cevaplanması gereken sorular büyük önem arz etmektedir.

- 1- İnternet üzerinden eklenen çok çeşitli IoT cihazları için bir sonraki büyük adım ne olabilir?
- 2- Yeni nesil bilgi sistemleri IoT ile senkronize bir şekilde nasıl çalışacak?
- 3- Yeni kavramlar karmaşıklığın ve veri hacminin üstesinden nasıl gelecek?
- 4- Gelecek neslin küresel iş ve ticaretini hangi IoT iş modeli yönetecek ve yönlendirecek?
- 5- Nesnelere yakın gelecekte iletişim için yalnızca İnternet alt yapısına mı güvenecekler?
- 6- IoT'den sonra hangi çağ başlayacak?

## 10. Sonuç

Teknolojik gelişmeler günden güne insan hayatındaki alanını genişletmiş ve vazgeçilmez hale gelmiştir. Klasik internet kavramı sonrasında nesnelere internet dünyasının kapılarını açan nesnelere interneti IoT kavramı hayatımıza girmiştir. Bu kavram aracılığıyla hayatımızda yer alan tüm cihazların internet üzerinden yönetilmesi, veri aktarımı yapması, kontrol edilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında IoT alanında geçmişten günümüze kadar yapılan literatür çalışmaları incelenmiş, IoT kavramının tüm detayları tanımlanmış ve IoT kavramına temel bir bakış gerçekleştirilmiş, klasik internetin nasıl IoT kavramına evrildiği tartışılmış, IoT'nin hedefleri tanımlanmış, IoT'nin kullandığı iletişim teknolojileri ve alt yapıları detaylı şekilde analiz edilmiş, IoT'nin uygulama alanları ve uygulamaları incelenmiş ve bu kavramda yer alan sorunlar, karşılaşılan zorluklar incelenmiş ve gelecekte karşılaşılabilecek muhtemel sorunlar belirlenmiştir.

## Referanslar

- Abou-Zahra, Shadi, Judy Brewer, and Michael Cooper. 2017. "Web Standards to Enable an Accessible and Inclusive Internet of Things (IoT)." Pp. 1–4 in *Proceedings of the 14th Web for All Conference on The Future of Accessible Work - WAA '17*. New York, New York, USA: ACM Press.
- Agrawal, Shashank and Dario Vieira. 2013. "A Survey on Internet of Things - DOI 10.5752/P.2316-9451.2013v1n2p78." *Abakós* 1(2).
- Al-Fuqaha, Ala, Mohsen Guizani, Mehdi Mohammadi, Mohammed Aledhari, and Moussa Ayyash. 2015. "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 17(4):2347–76.
- Al-Sarawi, Shadi, Mohammed Anbar, Kamal Alieyan, and Mahmood Alzubaidi. 2017. "Internet of Things (IoT) Communication Protocols: Review." Pp. 685–90 in *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)*. IEEE.
- Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. 2010. "The Internet of Things: A Survey." *Computer Networks* 54(15):2787–2805.
- Bravo, Jose, Ramon Hervas, Salvador W. Nava, Gabriel Chavira, and Carlos Sanchez. n.d. "Towards Natural Interaction by Enabling Technologies: A Near Field Communication Approach." Pp. 338–51 in *Constructing Ambient Intelligence*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Centenaro, Marco, Lorenzo Vangelista, Andrea Zanella, and Michele Zorzi. 2016. "Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios." *IEEE Wireless Communications* 23(5):60–67.
- Doppler, Klaus, Mika Rinne, Carl Wijting, Cassio Ribeiro, and Klaus Hugl. 2009. "Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks." *IEEE Communications Magazine* 47(12):42–49.
- Duan, Kang-Kang and Shuang-Yin Cao. 2020. "Emerging RFID Technology in Structural Engineering – A Review." *Structures* 28:2404–14.
- Evans, Martin. 2013. *Arduino in Action*.
- Geng Wu, S. Talwar, K. Johnsson, N. Himayat, and K. D. Johnson. 2011. "M2M: From Mobile to Embedded Internet." *IEEE Communications Magazine* 49(4):36–43.
- González, Gustavo Ramírez, Mario Muñoz Organero, and Carlos Delgado Kloos. 2008. "Early Infrastructure of an Internet of Things in Spaces for Learning." Pp. 381–83 in *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. IEEE.
- Gubbi, Jayavardhana, Rajkumar Buyya, Slaven Marusic, and Marimuthu Palaniswami. 2013. "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions." *Future Generation Computer Systems* 29(7):1645–60.
- He, Debiao, Neeraj Kumar, and Jong-Hyook Lee. 2015. "Secure Pseudonym-Based near Field Communication Protocol for the Consumer Internet of Things." *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 61(1):56–62.
- Hodges, Steve, Stuart Taylor, Nicolas Villar, James Scott, Dominik Bial, and Patrick Tobias Fischer. 2013. "Prototyping Connected Devices for the Internet of Things." *Computer* 46(2):26–34.
- Jia, Xiaolin, Quanyuan Feng, Taihua Fan, and Quanshui Lei. 2012. "RFID Technology and Its Applications in Internet of Things (IoT)." Pp. 1282–85 in *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*. IEEE.
- Juels, Ari, Ronald L. Rivest, and Michael Szydlo. 2003. "The Blocker Tag." P. 103 in *Proceedings of the 10th ACM conference on Computer and communication security - CCS '03*. New York, New York, USA: ACM Press.

- Khan, Rafiullah, Sarmad Ullah Khan, Rifaqat Zaheer, and Shahid Khan. 2012. "Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges." Pp. 257–60 in *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*. IEEE.
- Khanna, Abhishek and Sanmeet Kaur. 2020. "Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review." *Wireless Personal Communications* 114(2):1687–1762.
- Lea, Perry. 2018. *Internet of Things for Architects: Architecting IoT Solutions by Implementing Sensors, Communication Infrastructure, Edge Computing, Analytics, and Security*. Packt Publishing.
- Ma, Hua-Dong. 2011. "Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges." *Journal of Computer Science and Technology* 26(6):919–24.
- Madakam, Somayya, R. Ramaswamy, and Siddharth Tripathi. 2015. "Internet of Things (IoT): A Literature Review." *Journal of Computer and Communications* 03(05):164–73.
- Meddeb, Aref. 2016. "Internet of Things Standards: Who Stands out from the Crowd?" *IEEE Communications Magazine* 54(7):40–47.
- Medeiros, Evan S. and M. Taylor Fravel. 2003. "China's New Diplomacy." *Foreign Affairs* 82(6):22.
- Ogonji, Mark Mbock, George Okeyo, and Joseph Muliaro Wafula. 2020. "A Survey on Privacy and Security of Internet of Things." *Computer Science Review* 38:100312.
- Perera, Charith, Arkady Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos. 2014. "Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 16(1):414–54.
- Rodrigues, André, Tiago Camilo, Jorge Sá Silva, and Fernando Boavida. 2013. "Diagnostic Tools for Wireless Sensor Networks: A Comparative Survey." *Journal of Network and Systems Management* 21(3):408–52.
- Said, Omar and Mehedi Masud. 2013. "Towards Internet of Things: Survey and Future Vision." *International Journal of Computer Networks (IJCN)* 5(1).
- Santucci, Gérald. 2010. *Vision and Challenges for Realising the Internet of Things*.
- Scully, Padraig. 2018. "The Top 10 IoT Segments in 2018 – Based on 1,600 Real IoT Projects." Retrieved November 16, 2020 (<https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>).
- Shajahan, Altaf Hamed and A. Anand. 2013. "Data Acquisition and Control Using Arduino-Android Platform: Smart Plug." Pp. 241–44 in *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. IEEE.
- Tso, Fung Po, David R. White, Simon Jouet, Jeremy Singer, and Dimitrios P. Pazaros. 2013. "The Glasgow Raspberry Pi Cloud: A Scale Model for Cloud Computing Infrastructures." Pp. 108–12 in *2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*. IEEE.
- Villa-Henriksen, Andrés, Gareth T. C. Edwards, Liisa A. Pesonen, Ole Green, and Claus Aage Grøn Sørensen. 2020. "Internet of Things in Arable Farming: Implementation, Applications, Challenges and Potential." *Biosystems Engineering* 191:60–84.
- Vinnter. n.d. "Enterprise IoT: Why Securing IoT Devices Needs To Be the Number One Priority." Retrieved (<https://vinnter.se/enterprise-iot-why-securing-iot-devices-needs-to-be-the-number-one-priority/>).
- Weber, Rolf H. and Romana Weber. 2010. *Internet of Things*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Welbourne, Evan, Leilani Battle, Garret Cole, Kayla Gould, Kyle Rector, Samuel Raymer, Magdalena Balazinska, and Gaetano Borriello. 2009. "Building the Internet of Things Using RFID: The RFID Ecosystem Experience." *IEEE Internet Computing* 13(3):48–55.
- Whitmore, Andrew, Anurag Agarwal, and Li Da Xu. 2015. "The Internet of Things—A Survey of Topics and Trends." *Information Systems Frontiers* 17(2):261–74.
- Wilkinson, Glenn. 2014. "Digital Terrestrial Tracking: The Future of Surveillance." in *DefCon22*.