Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(2), 311-326, 2018

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Nesnelerin internetine genel bir bakış: Kavram, özellikler, zorluklar ve fırsatlar

Overview of internet of things: Concept, characteristics, challenges and opportunities

Enan Ameen KHALIL[1*], *Suat ÖZDEMİR*[2]

[1,2]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
enanameen@yahoo.com, suatozdemir@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.01.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 07.06.2017
doi: 10.5505/pajes.2017.60343
* Yazışılan yazar/Corresponding author
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bilgi çağı olarak adlandırılan günümüzde yapılan bilimsel çalışmalar ve uygulamalar internet teknolojisi ve haberleşme alanında birçok yeniliği günlük hayatımıza getirmiştir. Bu süreçte internet sadece insanların değil cihazların/nesnelerin de bağlanabildiği bir ortam haline gelmiştir. Günlük hayatımızda kullandığımız hemen her cihaz internete bağlanabilmektedir ve bunun sonucunda Nesnelerin İnterneti (Nİ) kavramı ortaya çıkmıştır. Nİ kavramı daha ilk adımlarında olmasına rağmen başarılı uygulamaları pek çok alanda görülebilmektedir. Nİ, uygun bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak sanal ve fiziksel nesneleri bağlayarak yeni ve yüksek sınıf uygulama ve hizmet alanları sunan bir gelecek vadetmektedir. Bu çalışmada Nİ kavramı, bileşenleri, mimarisi, uygulama alanları, zorlukları ve geleceği üzerinde durulmakta, ayrıca Nİ alanındaki henüz adreslememiş açık araştırma problemleri analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Nesnelerin İnterneti, akıllı nesneler, RFID etiketleri, kablosuz algılayıcı ağlar

Abstract

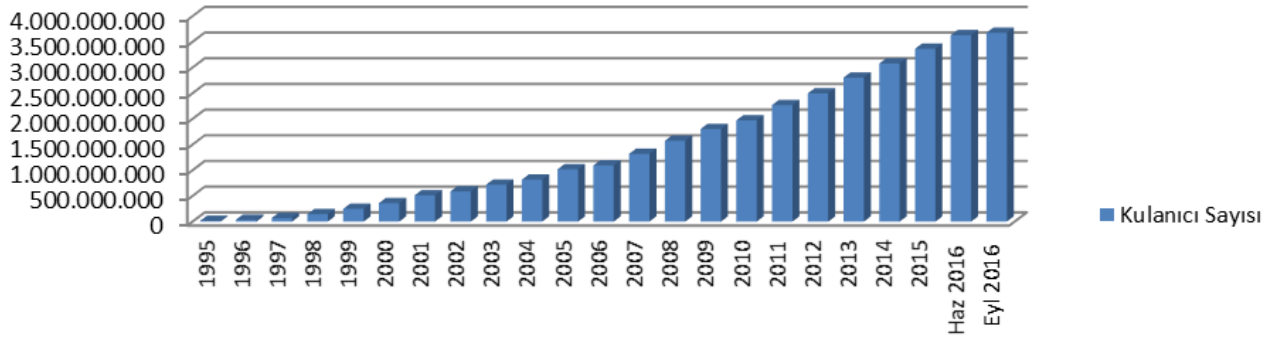
In the age of information, recent researches and applications are brought several innovations to our daily lives in the fields of Internet and communication technologies. Internet becomes an environment that is connectable not only by people but also by things. Today, almost every gadget in our daily life is able to connect to Internet. Such evolution of Internet generated the Internet of Things (IoT) concept. Successful applications of IoT have been demonstrated in many fields. However, IoT is still at its infancy stage. IoT envisions a future in which digital and physical entities can be linked, by means of appropriate information and communication technologies, to enable a whole new class of applications and services. In this article, we presented a survey of concept, characteristics, technologies, applications and research challenges for IoT which have been developed and became popular in recent years. We also analyzed and discussed the open research problems in IoT.

Keywords: Internet of Things, Smart objects, RFID tags, wireless sensor networks

1. Giriş

Günümüzde, dünyada yaklaşık dört milyar insan, web sayfalarında gezinme, e-posta gönderme-alma, çoklu ortam içeriklerine ve hizmetlerine erişme, sosyal ağ uygulamalarını kullanarak oyun oynama ve birçok görevleri gerçekleştirmek için interneti kullanmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojileri ajanslar tarafından Birleşmiş Milletler için hazırlanan rapor verilerine göre 2016 Eylül'den itibaren dünya nüfusunun %50.1'i aktif internet kullanıcısıdır (Bkz. Şekil 1) [1].

Gelişen internet ve iletişim teknolojilerine paralel olarak akıllı ve bağlanabilir nesneler günlük hayatımızda daha fazla sayıda yerini almaya başlamıştır. Artık insanların yanında bu nesnelerin de internete erişebilmesi, birbirleriyle ve internet üzerinden haberleşebilmesi için ağların yeni bir yaklaşımla ele alınması gerekliliği doğmuştur.



*: Veriler 2016 yılı dışında her yılın Aralık ayında hesaplanmıştır.

Şekil 1: 1995'ten günümüze kadar internetin inanılmaz hızlı gelişimi.

Son zamanlarda yapılan çeşitli çalışmalarda dünyada bulunan nesneleri internete bağlayarak birlikte çalışmasına olanak verecek bir sistem hedeflenmiş ve bu sistem Nesnelerin İnterneti (Nİ) -Internet of Things (IoT)- olarak adlandırılmıştır. 2020 yılında dünyada Nİ'ye bağlı 50 milyarın üzerinde cihaz bulunacağı öngörülmektedir [2]. Her tür cihazın bağlı olacağı Nİ ile elde edilebilecek verinin ise çok çeşitli olması beklenmektedir. Örneğin, akıllı trafik ışıklarından alınacak bir kavşaktaki araç sayısı, mobil telefonlardan alınacak bir bölgedeki insan yoğunluğu, evlerdeki klimalardan alınacak ortalama iç ortam sıcaklık değeri veya araç sileceklerinden alınacak olan bir bölgeye ait yağış şiddeti gibi çok farklı uygulamalardan çok farklı türde veri elde edilebilecektir. Benzer şekilde Nİ gıda, giyim, barınma, ulaşım, eğitim ve eğlence açısından insanlara daha iyi bir hayat sağlamasının yanı sıra yenilenebilir enerji pazarında da kullanılabilmektedir [3].

Nİ nesnelerden oluşan bir ağdır. Bu ağda nesneler birbirleri ve merkezi bilgisayarlarla internet aracılığıyla bağlı olup kendi durumları ve/veya bulundukları ortam hakkında bilgi alışverişinde bulunurlar. "Nesneler"-araçlar, aletler, tıbbi cihazlar, elektrik şebekeleri, ulaşım altyapısı, üretim ekipmanları, bina sistemleri gibi - kavramsal bir şekilde kontrol etme, iletişim ve bilgi toplama işlemlerini önemseyen herhangi bir obje olabilir [4].

Nİ kavramı ilk olarak 1999 yılında Massachusetts Institute of Technology'de (MIT) Auto-ID laboratuvarında geliştirilen tedarik zincirinde nesnelerin radyo frekanslı tanımlama teknolojisi (Radio-Frequency IDentification-RFID) ile oluşturduğu ağı ifade etmek amacıyla Kevin Ashton tarafından önerilmiştir [5]. İlk aşamalarında, akıllı tanımlama ve stok yönetimi için RFID cihazları bağlayıp bilgileri radyo frekans vasıtası ile internete iletmek hedeflenmiştir. Elde edilen başarılı sonuçlarla Nİ'nin önemi ve sunduğu fırsatlar araştırmacılar tarafından hızlı bir şekilde anlaşılmış ve çeşitli organizasyonlar Nİ için mimarileri ve standartları araştırıp uygulanabilen sistemleri geliştirmeyi amaçlayan araştırma grupları kurmuştur. Tablo 1'de Nİ ile ilişkili Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa, Japonya ve Çin gibi farklı ülkelere ait araştırma grupları verilmiştir. Nİ'nin tanımı, çeşitli gruplara göre farklı olmasına rağmen gereksinimleri temelde aynıdır. Nİ'nin gereksinimleri heterojen cihazları entegre etmek, her yerde veri alışverişi gerçekleştirebilmek, tespit ve izleme yeteneklerine sahip olmak ve kendi başlarına otomatik olarak basit kararlar verebilmek. Böylece son kullanıcıya daha iyi hizmet verebilmek adına nesnelerin zekası Nİ için önemli bir konu haline gelmiştir [6].

2005 yılında, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (The International Telecommunication Union-ITU) Tunus'ta gerçekleştirilen Dünya Bilgi Toplumu Zirvesi'nde Nİ'nin resmi kavramını tanımlamış, ITU internet raporunu yayınlamıştır [7]. Bu rapor Nİ kavramını detaylı bir şekilde sunup dünya çapında bireyler ve işletmeler üzerindeki etkilerini açıklamıştır. Ayrıca rapor gelişen teknolojileri, pazar fırsatları ve politika yansımaları hakkında bilgi içermiştir. Bu eğilim araştırma açısından umut verici ve önemli bir konu olan Nİ kavramına yol açmıştır [8]-[11]. Günümüzde ise, Nİ vizyonu kullanıcılar, üreticiler ve şirketler için büyük fırsat kümesi sağlamaktadır. Bu bağlamda, Nİ teknolojilerinin; çevre izleme, sağlık kontrolü, stok ve ürün yönetimi, işyeri ve ev desteği, güvenlik ve gözetim gibi birçok sektörde geniş uygulama alanına sahip olduğu görülmektedir [11].

Tablo 1: Farklı araştırma gruplarına göre Nİ için tanımlar ve standartlar.

Organizasyon	İnternet Bağlantısı
MIT	http://www.autoidlabs.org/
EPCglobal	http://www.gs1.org/epcglobal
ABD Milli Zeka Konseyi	http://www.fas.org/irp/nic/disruptive
Avrupa Komisyonu	http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/home_en.html
Avrupa Komisyonu	http://www.smart-systems-integration.org/public/internet-of-things
Her Yerde Kimlikleme Merkezi (Japonya)	http://www.uidcenter.org/
IoT (Çin)	http://www.iotcn.org.cn/

Bu makalede Nİ kavramı, sorunları ve sunduğu fırsatlar detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Öncelikle Nİ'nin ortaya çıkmasına yardımcı olan teknolojiler, mimarisi, zorlukları ve uygulamaları üzerinde durulmuştur. Gelecekte Nİ'nin sağlayabileceği olanaklar ayrıca gösterilmiştir. Literatürde Nİ alanında benzer çalışmalar olsa da, bu çalışma hem Türkçe olarak yazılmış en kapsamlı çalışma olması hem de Nİ kavramını farklı alanlardan inceleyen kapsamlı bir çalışma olması açısından literatüre katkı sağlamaktadır. Makalenin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde, Nİ'nin temel kavramı, bileşenleri, hizmetleri ve çıkmasına yardımcı olan teknolojiler hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölüm kapsamlı bir tablo özetiyle sonlandırılmıştır. 3. Bölümde ise, Nİ'de kullanılan çeşitli mimariler tanımlanmış ve karşılaştırılmıştır. Nİ'nin sağladığı uygulama imkânları 4. Bölümde detaylı olarak incelenmiştir. 5. Bölümde, Nİ'de araştırmada ve uygulamada karşılaşılan kavram ve tasarım zorlukları analiz edilmiştir. 6. Bölümde ise, Nİ'nin geleceği ve gelecekte sağlayabileceği uygulama olanakları üzerinde durulmuştur. Son olarak, 7. Bölümde elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. Nİ kavramı

Nİ, bilgi toplamak, iletişim ve bilgi işlemek için kullanılan gelişmekte olan bir kavramdır. Literatürde bu kavramla ilgili oldukça fazla sayıda tanım bulunmaktadır. Tanımlar incelendiğinde araştırmacıların bu kavramın arkasındaki temel fikrin ne olduğunu, hangi alanlarda uygulanabileceğini anlamakta güçlük çektikleri görülmektedir. Kavramın anlaşılma güçlüğü, kavramı oluşturan "internet" ve "nesne" sözcüklerinden kaynaklanmaktadır. Tanım farklılıkları ise ticari kuruluşlar, pay sahipleri, araştırma ve standartları birleştirme kurumlarının tanımı kendi ticari faaliyetleri ve ilgi alanlarına göre yapmış olmasından kaynaklanmaktadır [12]. Konunun çok yönlü doğası gereği tanımlamalar internet, nesne ve anlam odaklı olarak yapılabilmektedir [13]. Bu odak noktalara göre çok kullanılan ve öne çıkan bazı tanımlar şu şekildedir:

- Standart iletişim protokollerine dayalı, birbirine bağlı ve eşsiz olarak adreslenebilen evrensel nesneler ağıdır [12],
- Bilgi toplama için mevcut ve gelişen bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı, birbirine bağlı nesneler

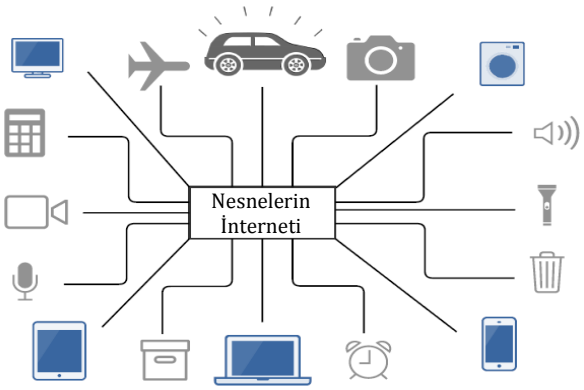
tarafından gelişmiş hizmetler sağlayan küresel bir altyapıdır [14],

- Çevre şartlarına göre davranabilme, bilgi, veri ve kaynak paylaşabilme, otomatik organize olabilme yeteneklerine sahip açık ve kapsamlı akıllı nesneler ağıdır [15].

Nİ için radyo frekanslı tanımlama (RFID) etiketleri temel bir teknoloji olarak kabul edilir. Öyle ki eğer günlük yaşamımızda bulunan tüm nesneler radyo etiketleri ile donatılmış olsaydı bilgisayarlar tarafından keşfedilebilirdi [16]. Nİ'nin yapısında birçok RFID özellikli bilgisayar, fiziksel cihaz ve mobil cihaz yer almaktadır (Bkz. Şekil 2). Bu yapıda istenilen bir karmaşık görevi gerçekleştirmek için görev çok sayıda basit alt-görevlere bölünür ve her biri Nİ'nin bir nesnesine atanır. Böylece tüm sistemin performansı artar [17]. Nİ'de birbirine bağlı nesneler yaygın ve yoğun bir şekilde bulunur. Öyle ki uygun bir şekilde etiketlenmiş herhangi bir nesne eşit bir şekilde etiketlenmiş başka nesneler ile internet veya başka bir protokol vasıtasıyla iletişim kurabilir ve iş ortaklığı yaparak ortak bir hedefi gerçekleştirebilir. Nesneler RFID etiketleri, algılayıcı düğümler, tetikleyiciler (actuators), cep telefonları olabilir [18]. Kavramsal bir bakış açısından, Nİ akıllı nesnelerin üç özelliğe sahip olabilmesi üzerine kurulmuştur:

i. Tanımlanabilir olması (her nesne kendisini tanımlamalıdır),
ii. İletişim kurabilir (iletişim kurabilen her nesne),
iii. Etkileşimli (Etkinleşebilen her nesne).

Sistem düzeyinde bir bakış açısından ise Nİ bilgi üreten ve bilgi tüketen çok sayıda akıllı nesnelerden oluşan, son derece dinamik ve radikal bir şekilde dağıtılan bir ağ sistemi üzerine kurulmuştur. Nİ'de fiziksel olayları yakalamak ve bu olayları anlamsal bilgilere çevirmek algılayıcı cihazların ve fiziksel olayları tetikleyebilen çalıştırıcıların bulunması ile gerçekleştirilir [19].



Şekil 2: Nesnelerin İnterneti.

2.1 Bileşenler

Nİ'nin ortaya çıkmasının ana nedeni dünyada bulunan nesnelerin verilerini, insanların bilgilerini paylaşabildikleri gibi otomatik olarak paylaşabilmeleridir [19]. Bunu gerçekleştirebilmek için birçok bileşenin bulunması gerekmektedir.

2.1.1 RFID etiketleri

Radyo frekansı tanımlama etiketleri (RFID) nesnelerin tanımlanmasında kullanılan kablosuz bir teknolojidir [20]. Düşük maliyetinden ve nesnelerin konumunu ve durumunu izleme ve uzaktan okuma yeteneğine sahip olduğundan dolayı normal barkod okuyucularına göre daha çok tercih edilir. RFID etiketleri nesnelerin tanımlanması için ve böylece internete bağlanabilmesi için en önemli faktördür. RFID etiketleri nesneleri tanımlamak için ve tanımlanan bilgileri RFID okuyucusuna göndermek için fiziksel temas olmaksızın radyo dalgalarını kullanarak gerçekleştirir [21].

2.1.2 Kablosuz algılayıcı ağlar

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) fiziksel dünyayı bilgi dünyasına bağlayan önemli bir rol oynamaktadır [21]. Bu ağlar çevrede gerçekleşen değişiklikleri tespit edip ilgili istasyonlara bilgi verir böylece tespit edilen olaylara karşı önlem alınabilmektedir. KAA'lar birbirinden bağımsız, kablosuz radyo yardımıyla kendi aralarında bağlantı kurabilen düğümlerden oluşur. Düğümler, veri toplamak için algılama birimi, veri işleme ve kontrol için mikrodenetleyici, veri ve program komutlarını depolamak için bellek, diğer düğümlerle iletişim için radyo alıcı-verici ve güç kaynağı olarak genellikle pil içerir [22]. Bu algılayıcı düğümler veri toplamak için ve toplanan verileri baz istasyonuna göndermek için birlikte çalışır.

2.1.3 Gömülü sistemler ve nanoteknoloji

Gömülü sistemler zeki sistemlerdir ve nesneler gömülü zekâyla akıllı nesne haline gelir. Böylece nesneler otomatik olarak belirli eylemleri gerçekleştirebilir. Örneğin, bir akıllı çamaşır makinesi, insan müdahalesi olmadan otomatik olarak çamaşırları yıkayıp kurutabilir. Nanoteknoloji sayesinde gömülü sistemler çok daha kısıtlı alanlara yerleşebilmektedir. Bu şekilde çok daha fazla nesne akıllı cihaz haline getirebilir (akıllı telefonlar, akıllı saatler, akıllı gözlükler, vb.). Bu cihazlar bilgi işleyebilir, öz konfigürasyon yapıp bağımsız kararlar alabilirler [23]. LAN, GPRS, KAA, Wifi, 3G, vb. yardımı ile birbirleri ile bağlantı kurabilirler.

2.2 Kullanılan teknolojiler

2.2.1 İletişim

Nİ uygulamalarında kullanılan akıllı nesnelerin heterojen yapıda olması sebebiyle bu nesnelerin iletişiminde de farklı özelliklere sahip iletişim teknolojileri kullanılabilmektedirler. Nesneler kayıplı (lossy) ve gürültülü iletişim bağlantıları bulunan ortamlarda düşük güç kullanarak çalışmak zorundadır. Nİ'de kullanılan iletişim teknolojilerine, WiFi, IEEE 802.15.4, Bluetooth, Z-wave, LTE ve LPWAN teknolojileri örnek verilebilir.

Nİ'de kullanılan başlıca iletişim teknolojisi WiFi'dir. WiFi 100 m mesafe içinde olan nesneler arasında veri alışverişini radyo dalgalarını kullanarak gerçekleştirir [24]. Bluetooth ise kısa mesafelerde bulunan cihazlar arasında iletişimi sağlar. Bu teknoloji güç tüketimini en aza indirgemek için kısa dalga boylu radyo (short-wavelength radio) kullanır. Bu kapsamda Bluetooth SIG (Special Interest Group) araştırma grubu düşük enerji tüketen, yüksek hıza sahip olan ve Nİ-IP iletişimini destekleyen Bluetooth 4.1 geliştirmiştir [25],[26]. Son zamanlarda bu gurup Nİ uygulamaları için daha fazla destekleyici özelliklere sahip olan Bluetooth 4.2 ve daha sonra da Bluetooth 5.0 geliştirmiştir. Bluetooth 4.2 daha eski versiyonlara göre daha düşük enerji tüketimi, daha güvenli bağlantı ve daha uzun paket iletimi sağlamıştır. Ayrıca, Bluetooth 4.2, akıllı evlerde akıllı objelerin bağlantısını kolaylaştıran IPSP 6 (Internet Protocol Support Profile 6) protokolünü sunmuştur. Bluetooth 5.0 ise 16 Haziran 2016'da Londra'da düzenlenen bir medya etkinliği sırasında açıklanmıştır. Bluetooth 5.0 daha düşük enerji tüketimi içinde

komünikasyon aralığını dört kat, iletim hızını iki kat ve veri broadcast kapasitesini sekiz kat yükseltmiştir. Bu geliştirme akıllı düğümlerin bir akıllı ev boyunca bağlı olması için önemlidir.

LTE (Long Term Evolution -uzun vadeli evrim-) ise, GSM/EDGE ve UMTS/HSPA ağ teknolojilerine dayalı yüksek hızlı (300 Mbit/s) mobil telefonlar arasında kablosuz veri aktarım standardıdır. LTE yüksek hızda mobil olan cihazlara multicast ve broadcast hizmetleri sunabilir. Gelişmiş LTE ise (LTE Advanced-LTE-A), LTE sistemi üzerine kurulu bir teknolojidir. LTE-A, genişletilmiş bant genişliği (100 MHz'e kadar), downlink ve uplink çoklama (multiplex), büyütülmüş kapsama alanı ile daha yüksek verim ve daha düşük gecikme sağlar [27],[28].

Son olarak, LPWAN (Low Power Wide Area Network) optimum güç ve kaynak tasarrufu sağlayabilen, konum belirleme kabiliyetine sahip olan, uzun menzilli ve düşük maliyetli bir kablosuz iletişim teknolojisidir [29]. LPWAN'in amacı uzun mesafelerde bulunan ve düşük güç ve veri hızına sahip olan cihazları düşük bantgenişliği üzerinden birbirine bağlamaktır. Bu teknoloji bütçeler ve güç sorunları ile sınırlandırılmış birçok Nİ ve M2M (Machine to Machine) uygulamalarına olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Bu teknolojiyi ile ilgili araştırma yapan birçok standart geliştirme organizasyonu ve özel sanayi ittifakı bulunmaktadır. Bu kuruluşlar, SIGFOX [30], LORAWAN [31], INGENU [32] ve TELENSA [33] gibi LPWAN'yi destekleyen birçok platform geliştirilmiştir. Bu platformlar daha geniş iletişim alanı, daha düşük güç tüketimi ve daha yüksek ölçeklenebilirlik elde etmek için çeşitli özellikler ve teknikler kullanmıştır. Tablo 2'de bu platformların bazı teknik özellikleri özetlenmiştir [34],[35].

Bunlara ek olarak, RFID, 6LoWPAN, ultra geniş bant genişliği (Ultra-Wide Bandwidth - UWB) teknolojisi ve yakın alan iletişimi (Near Field Communicaiton-NFC) Nİ uygulamalarında kullanılan bazı özel kısa mesafe iletişim teknolojileridir. RFID, etiket ve okuyucudan oluşur. RFID etiketi nesnelerin kimliğini tanımlamak için basit bir yonga veya etiketi temsil eder. RFID okuyucu ise, radyo dalgalarını kullanarak sorgu sinyallerini etikete gönderir ve etiketten yansıtılan sinyali alıp işleme merkezine bağlı olan bir veri tabanına geçirir. Böylece yansıyan sinyallerden nesneler tespit edilir [36]. 6LoWPAN, düşük güçlü kablosuz kişisel alan ağları (low power Wireless Personal Area Networks-WPAN) üzerinden IPv6 kullanılmasının kısaltımıdır (IPv6 over Low power WPAN). 6LoWPAN düşük kaynaklara (enerji, işletim ve bellek birimleri) sahip olan düğümlerin oluşturduğu bir Mesh ağıdır. Bu ağda bulunan her düğüm kendisine özgün bir IPv6 adresine sahiptir ve böylece IEEE 802.15.4 ve açık IP standartlarını kullanarak internete ve buluta doğrudan bağlanabilir [37],[38]. Yakın alan iletişimi (NFC), kısa mesafelerde radyo frekansı ile iletişim sağlayan ISO 18092 standardını kullanan kablosuz iletişim teknolojisidir. NFC, yüksek frekans bandında (13.56 MHz'de) çalışır ve 424 kbps kadar veri hızı destekler. Bu teknolojinin geçerli çalışma aralığı 10 cm kadar olabilir (okuyucularla etiketler veya okuyucular arasında bu aralık içinde çalışabilir) [39]. Ultra geniş bant genişliği (UWB) teknolojisi ise, düşük enerjili ve yüksek bant genişliği kullanarak küçük aralıktaki kapsama alanında iletişimleri desteklemek üzere tasarlanmıştır. Bu teknolojinin kullanılması algılayıcı düğümleri bağlamak için son zamanlarda artmıştır [40].

2.2.2 Algılama

Nİ'de algılama, ağ içindeki ilgili nesnelerden verinin toplanması ve onların veri tabanı, veri ambarı veya buluta geri gönderilmesini ifade etmektedir. Toplanan veriler gerekli servislere dayalı olarak belirli eylemleri gerçekleştirmek üzere analiz edilir. Nİ algılayıcıları akıllı algılayıcılar, giyilebilir algılama aygıtları, gömülü algılayıcılar, çalıştırıcılar olabilir. Algılayıcı ağı internete bağlamak için İnternet Protokole (Internet Protocol -IP-) dayalı bir standart kullanılabilir. Örneğin, Tek Kartlı Bilgisayarlar-TKB (Single Board Computers -SBCs-) algılayıcılarla bütünleştirilir ve dahili TCP/IP ve güvenlik işlevleri kullanarak Nİ ürünleri için tanımlı hale getirilebilir [41],[42].

2.2.3 Hesaplama

Hesaplamada yazılım ve donanım olmak üzere iki bileşen yer almaktadır. İşlemci bileşenleri (mikro-denetleyiciler, mikro-işlemciler, SOC'lar, FPGA'ler gibi) ve işlemci uygulamaları Nİ için hesaplama kabiliyetini sağlar. Üzerinde mikro denetleyici ve mikro işlemci gibi işlem birimlerini bulunduran Arduino [43], Intel Galileo [44],[45], WiSense [10], Raspberry PI [46],[47], Gadgeteer [48], BeagleBone ve BeagleBone Black [49],[50],[51], Cubieboard [52], UDOO [53], Z1 [54] ve Mulle [55] Nİ için geliştirilen donanım bileşenlerine örnek olarak verilebilir.

Tablo 2: LPWAN'de kullanılan bazı platformların teknik özellikleri.

Modülasyon	SIGFOX UNB DBPSK(UL), GFSK(DL)	LORAWAN CSS	INGENU RPMA-DSSS(UL), CDMA(DL)	TELENSA UNB 2-FSK
Bant	868/915 MHz	433/868/780/915 MHz	2.4 GHz	SUB-GHZ Bantları
Veri hızı	100 bps	50 kbps	19.5 kbps	346 Mbps
Alan	10 km (Kentsel), 50 km (Kırsal)	5 km(Kentsel), 15 km (Kırsal)	15 km (Kentsel)	1 km (Kentsel)
İleri hata düzeltme	×	✓	✓	✓
Topoloji	Star	Star of Stars	Star/Tree	Star
Paket boyutu	12B	250 Byte kadar	10KB	65KB
Dolaşım (Roaming)	✓	✓	✓	✓
Kimlik doğrulama ve şifreleme	Şifreleme yok	AES 128b	16B hash, AES 256b	Geliştirilme aşamasında

Nİ'de hesaplamayı destekleyen gerekli yazılım platformları mevcuttur. Bu platformlar arasında nesneler aktif oldukları süreç boyunca çalıştıkları için işletim sistemleri önemli rol oynamaktadır. Nİ uygulamalarını destekleyen birçok gerçek zamanlı işletim sistemi (Real-Time Operating Systems -RTOS-) bulunmaktadır. Örnek olarak, Contiki [56] RTOS Nİ senaryolarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Contiki'de bulunan Cooja adlı benzetim ortamı araştırmacıların ve geliştiricilerin Nİ ve KAA uygulamalarını test etmek için olanak sağlamaktadır. LiteOS [57], TinyOS [58], Riot OS [59] Nİ'de kullanılabilir başka RTOS örnekleridir. Buna ek olarak, bazı otomobil endüstrisi liderleri Google'la iş birliği yaparak açık oto birliğini (Open Auto Alliance -OAA-) kurmuştur. OAA Android işletim sistemine Arabaların İnternetini- Aİ (Internet of Vehicles -IoV-) destekleyen özellikler eklemeyi planlamaktadır [60]. Bahsi geçen işletim sistemlerin bazı özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Son olarak, bulut platformları (Cloud Platforms) Nİ'de hesaplamada önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı nesneler büyük verileri gerçek zamanlı bir şekilde işlenmek üzere buluta gönderebilir. Bulutta Nİ'yi destekleyen IoTCloud, OpenIoT, NimBits ve Hadoop gibi platformlar bulunmaktadır [25].

2.2.4 Tanımlama ve Adresleme

Tanımlama ağ içinde her nesneye açık bir kimlik sağlamak amaçlı olarak kullanılmaktadır. İstenilen hizmetleri isimlendirmek ve taleplerle eşleştirmek için tanımlama çok önemlidir. Nİ'de her nesneyi tanımlamak için elektronik ürün kodları (Electronic Product Codes-EPC) ve yaygın kodlar (Ubiquitous CODEs-uCode) gibi bir çok yöntem bulunmaktır [62]. Ayrıca, nesne kimliği (ID) ile adresini birbirinden ayırmak için nesnelerin adreslenmesi önemlidir. ID nesnenin ismini ifade etmektedir, adres ise ağ içinde ona verilen adresi ifade etmektedir. Nİ'de adresleme IPv4 ve IPv6 ile gerçekleştirilir [63].

2.2.5 Anlam

Nİ içinde anlam, gerekli hizmetleri sağlamak için farklı makineler tarafından bilgiyi akıllıca çıkarma yeteneğini ifade etmektedir. Bilgi çıkarımı kaynakların keşfini ve kullanımını, bilgilerin modellenmesini ve doğru karar verebilmek için verilerin tanımlanmasını ve analizini içerir. Anlam, istekleri doğru kaynaklara yönlendirdiği için Nİ'nin beyni olarak görülebilir. Nİ uygulamalarındaki bu gereksinim (anlama gereksinimi) kaynak tanımlama yapısı (Resource Description Framework -RDF) ve web ontoloji dili (Web Ontology Language-OWL) gibi anlamsal web teknolojileri kullanılması ile çözülmüştür [64]. Son zamanlarda, dünya çapında Web Derneği (World Wide Web Consortium -W3C) etkili XML değişim (Efficient XML Interchange-EXI) formatını Nİ'de anlam hizmetinde kullanılmak için önermiştir [65]. EXI Nİ bağlamında önemlidir, çünkü XML uygulamalarını kaynak kısıtlı ortamlar için optimize etmek için tasarlanmıştır. Ayrıca, EXI pil ömrü, kod boyutu, işleme için tüketilen enerji ve bellek boyutu gibi kaynakları etkilemeden bant genişliğine duyulan ihtiyaçları azaltır. EXI, gerekli bant genişliğini azaltmak ve gerekli depolama boyutunu küçültmek için XML mesajlarını ikili (binary) hale dönüştürür.

2.3 Temel Nİ hizmetleri

Nİ ev ve ofis otomasyonlarından üretim hattı ve perakende ürün takibine kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Nİ'de her uygulamanın gelişimi, optimizasyonu ve hızlarının arttırılması için bir ya da daha fazla hizmet kullanılır. Genel olarak, Nİ hizmetleri dört sınıf altında kategorize edilebilir: Kimlikle ilgili hizmetler (Identity-related Services), bilgi toplama hizmetleri (Information Aggregation Services), iş birliğine dayalı hizmetler (Collaborative-Aware Services) ve yaygın hizmetler (Ubiquitous Services) [66],[67].

- **Kimlikle ilgili hizmetler:** Nİ uygulamasındaki nesnelerin kimlik bilgilerine ihtiyaç duyulması sırasında kullanılmaktadır,
- **Bilgi toplama hizmetleri:** Nİ uygulamalarında ham algılayıcı verilerinin toplanması, özetlenmesi ve raporlanması işlemlerinde kullanılır,
- **İş birliğine dayalı hizmetler:** Bilgi toplama hizmetleri ile çalışır. Bu hizmetler toplanan ve işlenen verilerden elde edilen bilgilere göre karar alma ve eyleme geçme sürecinde kullanılır,
- **Yaygın hizmetler:** İş birliğine dayalı hizmetler ile çalışır. Bu hizmetler herhangi bir kişiye, herhangi bir yerde, herhangi zamanda iş birliğine dayalı servisleri sağlamayı amaçlamaktadır.

Yukarıda bahsi geçen Nİ kavramı ve ona bağlı konuların ve teknolojilerin taksonomisi, Şekil 3'te özetlenmiştir.

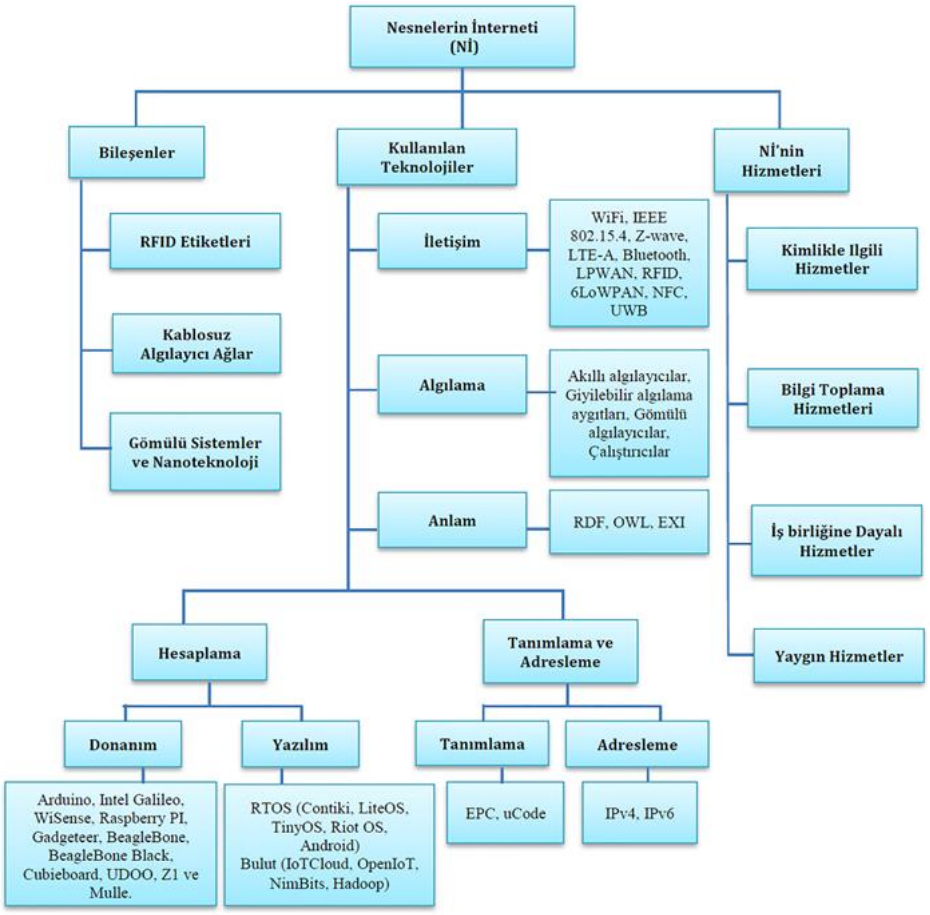
3. Nİ'nin mimarisi

Nİ'nin mimarisi temelde üç katmandan oluşmaktadır. Bu mimari yaygın bir şekilde Nİ yaklaşımını anlatmak için kullanılmıştır [6],[68]-[71]. Üç katmanlı mimari Şekil 4(a)'da verilen algı, ağ ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır. Algı katmanı (aynı zamanda algılama ya da teknoloji katmanı olarak da adlandırılır) alt katmandır. Bu katman donanım veya fiziksel katman olarak kabul edilir ve bilgi toplama işlemini gerçekleştirmek için kullanılır. Ara katman ağ katmanıdır. Bu katman algı katmanıyla uygulama katmanını bağlayarak nesneler algı katmanından uygulama katmanına geçebilir, aynı zamanda sistemler, uygulamalar ve hizmetler uygulama katmanından algı katmanına geçebilirler. Uygulama katmanı ise diğer iki katmandan alınan bilgileri analiz ve entegre ederek hizmetleri ve uygulamaları sağlamaktadır.

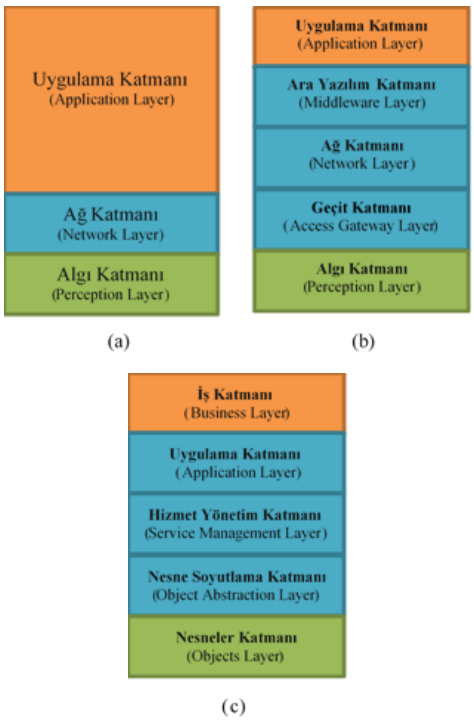
Üçlü katman mimarisi temel model olmasına rağmen, literatürde Nİ mimarisine daha fazla soyutlama getirebilen başka modeller de önerilmiştir. Şekil 4(b) ve (c) sırasıyla ara yazılım tabanlı model ve beş katmanlı model mimarilerini göstermektedir.

Tablo 3: Nİ'de en çok kullanılan işletim sistemleri.

İşletim Sistemleri	Programlama Dili Desteği	Gereken Minimum Bellek	Olay Güdümlü Programlama	Çoklu Iplikli Çalışma	Dinamik Bellek Desteği
TinyOS [58]	nesC	1 KB	Evet	Kısmen	Evet
Contiki [56]	C	2 KB	Evet	Evet	Evet
LiteOS [57]	C	4 KB	Evet	Evet	Evet
Riot OS [59]	C/C++	1.5 KB	Hayır	Evet	Evet
Android [61]	Java	-	Evet	Evet	Evet



Şekil 3: Nİ'nin şeması.



Şekil 4: Nİ'nin mimarisi. (a): Üçlü katman modeli. (b): Ara yazılım tabanlı model. (c): Beş katmanlı model.

Ara yazılım tabanlı modelde Nİ'nin üçlü katmanlı yapısına geçit katmanı (gateway layer) ve ara yazılım katmanı (middleware layer) eklenmiştir [12],[72]. Bu modelde algı katmanı kenar katman olarak adlandırılabilir ve veri toplama işlemi için tanım sağlar. Algı katmanını uygulama katmanına bağlamak için sadece ağ katmanını kullanan üçlü model mimarisinden farklı olarak ara yazılım tabanlı model yapısında nesnelerle sistem arasında mesaj ve iletişim yönetimi sağlayan ağ katmanına geçit katmanı da eklenmiştir. Ara yazılım katmanı ise ara yazılım tabanlı yapıya eklenen başka bir katmandır. Bu katman genellikle donanımla uygulamalar arasında daha esnek bir iş birliği arayüzü sağlamak için kullanılır. Son olarak, ara yazılım tabanlı yapının üst katmanı uygulama katmanıdır. Bu katman, üçlü katman yapısında bulunan uygulama katmanının benzerdir, aynı işleve ve tanıma sahiptir.

Beş katmanlı model Nİ mimarisinde kullanılan başka bir modeldir [73]-[75]. Aşağıda TCP/IP katmanlarıyla karıştırılmaması gereken beş katmanlı modelin katmanları hakkında kısa bir özet verilmiştir:

- **Nesneler Katmanı:** Beş katmanlı modelin ilk katmanı nesneler (cihazlar) katmanıdır (algı katmanı olarak da isimlendirilir). Bu katman bilgi toplamayı ve işlemeyi gerçekleştiren fiziksel algılayıcılarla ifade edilir. Ayrıca bu katman verileri sayısallaştırıp güvenli kanallar vasıtasıyla nesne soyutlama katmanına iletir. Nİ'de toplanan büyük verinin toplanması bu katmanda başlatılır,

- Nesne Soyutlama Katmanı: Nesneler katmanında üretilen verileri güvenli kanallarla hizmet yönetim katmanına aktarır. Aktarma işlemi RFID, 3G, GSM, UMTS, WiFi, Bluetooth, infrared, ZigBee gibi teknolojiler kullanılarak gerçekleştirilir. Ayrıca, bulut hesaplama ve veri yönetimi gibi işlemler de bu katmanda gerçekleştirilir,
- Hizmet Yönetim Katmanı: Ara yazılım katmanı olarak da adlandırılır. Bu katman hizmetlerle istekleri eşleştirir. Alınan verileri işler, karar alır ve ona göre gerekli hizmetleri sunar. Ayrıca, Nİ uygulamaları bu katmanı kullanarak belirli bir donanım platformunu dikkate almadan heterojen yapıya sahip olan nesnelerle çalışabilir,
- Uygulama Katmanı: Kullanıcılar tarafından istenilen hizmetleri sağlar,
- İş Katmanı: Bu katman (yönetim katmanı olarak da adlandırılır) Nİ sisteminin tüm etkinliklerini ve hizmetlerini genel bir şekilde yönetir. İş katmanın görevleri, uygulama katmanından alınan verilere dayanarak iş modellerini, grafikleri, akış şemalarını vb. oluşturmaktır. Aynı zamanda, bu katman Nİ sistemine bağlı bileşenlerin tasarımını, analizini, uygulamasını, değerlendirmesini, izlemesini ve geliştirmesini gerçekleştirir.

4. Nİ'nin platformları

Bölüm 2.2.3, Nİ'nin bazı platformlarını hesaplama açısından vermiştir. Bu platformlar yazılımsal ve donanımsal olarak ikiye ayrılmıştır. Bu bölümde Nİ'nin yazılımsal platformları üzerinde durulacaktır.

Nİ ağında bulunan herhangi bir cihazın amacı diğer cihazlarla ve/ veya bulut tabanlı uygulamalarla bağlantı kurarak bilgi alışverişinde bulunmak. Nİ cihazları ile veri ağın arasındaki boşluk Nİ platformuyla doldurulur. Nİ platformu, nesnelerle veri ağları arasında bağlantı sağlar ve nesneler tarafından üretilen verilerin anlamasına ve analizine yönelik arka plan uygulamalar sağlar. Bu alanda, Appcelerator, AWS IoT, Ericsson Framework, IBM IoT Foundation Device Cloud ve ThingWorx gibi birçok Nİ yazılım platformları bulunmaktadır. Bu platformlar arasında bir seçim yapmak, cihaz yönetimi ve entegrasyon desteği, bilgi güvenliği, veri toplama protokolleri, veri analizi ve görüntüleme gibi farklı özelliklere sahip olmalarına bağlıdır [76],[77]. Aşağıda bu özellikler kısa bir şekilde özetlenmiştir:

- **Cihaz Yönetimi ve Entegrasyon Desteği:** Cihaz yönetimi, herhangi bir Nİ yazılım platformundan beklenen en önemli özelliklerden biridir. Platform, ağa bağlı nesnelerin durumunu takip edebilmeli, konfigürasyon ve yazılım güncellemelerini yönetebilmeli ve hata kontrolü ve cihaz seviyesinde hata raporlama teknikleri içermelidir. Platform, günün sonunda, kullanıcılara cihaz düzeyinde istatistikler sunabilmelidir,
- Diğer taraftan, entegrasyon, Nİ platformundan beklenen başka bir önemli özelliktir. API'ler, gereken önemli operasyonlara ve verilere erişim sağlamalılar. Bu erişim genellikle REST-API'ler (REpresentational State Transfer APIs) vasıtasıyla gerçekleştirilir,
- **Bilgi Güvenliği:** Nİ platformunu çalıştırmak için gereken bilgi güvenliği, normal uygulamalar için ve servisler için gereken bilgi güvenliğinden çok daha yüksektir. Genellikle, Nİ nesneleri ile Nİ platformu arasındaki ağ bağlantısı, öngörülen dinlemeleri önlemek için güçlü bir şifreleme mekanizmasıyla şifrelenmelidir. Ancak, Nİ platformlarında yer alan düşük maliyetli ve düşük güçlü nesnelerin çoğu, gelişmiş erişim kontrol önlemlerini destekleyemez. Bu durumda, Nİ platformu kendisi, cihaz seviyesi güvenlik sorunlarını çözmek için alternatif önlemler almalıdır. Örneğin, Nİ trafiğinin özel ağlara ayrılması, bulut uygulama düzeyinde güçlü bilgi güvenliği teknikleri, düzenli parola güncellemelerin yapılmasını zorunlu tutmak, yazılım güncellemelerinin sadece kimlik doğrulama yoluyla kabul etmek ve benzeri Nİ platformunun güvenlik seviyesini arttırır,
- **Veri Toplama Protokolleri:** Dikkat alınması gereken bir diğer konu, Nİ platformunun bileşenleri arasında veri iletişimi için kullanılan protokollerdir. Bir Nİ platformunun, milyonlarca hatta milyarlarca nesnelerin yönetmesi gerekebilir. Düşük enerji tüketimini ve düşük ağ bant genişliği üzerinden işlevselliği sağlayabilmek için hafif iletişim ve veri toplama protokolleri kullanılmalıdır,
- **Veri Analizi:** Nİ platformuna bağlı nesnelerden anlamlı bilgiler elde etmek için toplanan verilerin akıllı bir şekilde analiz edilmesi gerekir. Nİ çerçevesinde kullanılabilen dört veri analiz yöntemi bulunmaktadır: gerçek zamanlı analiz (real time), yığın analiz (batch), tahmini analiz (predictive) ve etkileşimli analiz (interactive) [78]. Gerçek zamanlı veri analizi akan verilerin çevrim içi (on-the-fly) analizini gerçekleştirir. Örneğin, bulut üzerinde gerçek zamanlı akış işleme. Yığın analiz işlemleri biriken veri kümesi üzerinden yürütür. Böylece, işlemler planlanan zaman aralıklarında gerçekleşir ve birkaç saat veya gün sürebilir. Tahmini analiz ise, çeşitli istatistiksel tekniklere ve makine öğrenme yöntemlerine dayanan tahminlerin yapılmasına olanak sağlar. Son olarak, Etkileşimli veri analizi, hem akan verilerin hem de biriken veri kümesi üzerinde birden fazla keşif analizi gerçekleştirir,
- **Görüntüleme (Visualization):** Bilgilerin, uygun bir şekilde görüntülemesi Nİ platformundan beklenen başka bir önemli gereksinimdir. Görüntüleme ile veri analizi birlikte yürütülür. Böylece, Nİ platformu, nesnelerden toplanan verilerin yanı sıra veri analizinden sonra elde edilen bilgilerin görselleştirilmesi için gerekli araçlar (Tools) ve API'lar sağlamalıdır.

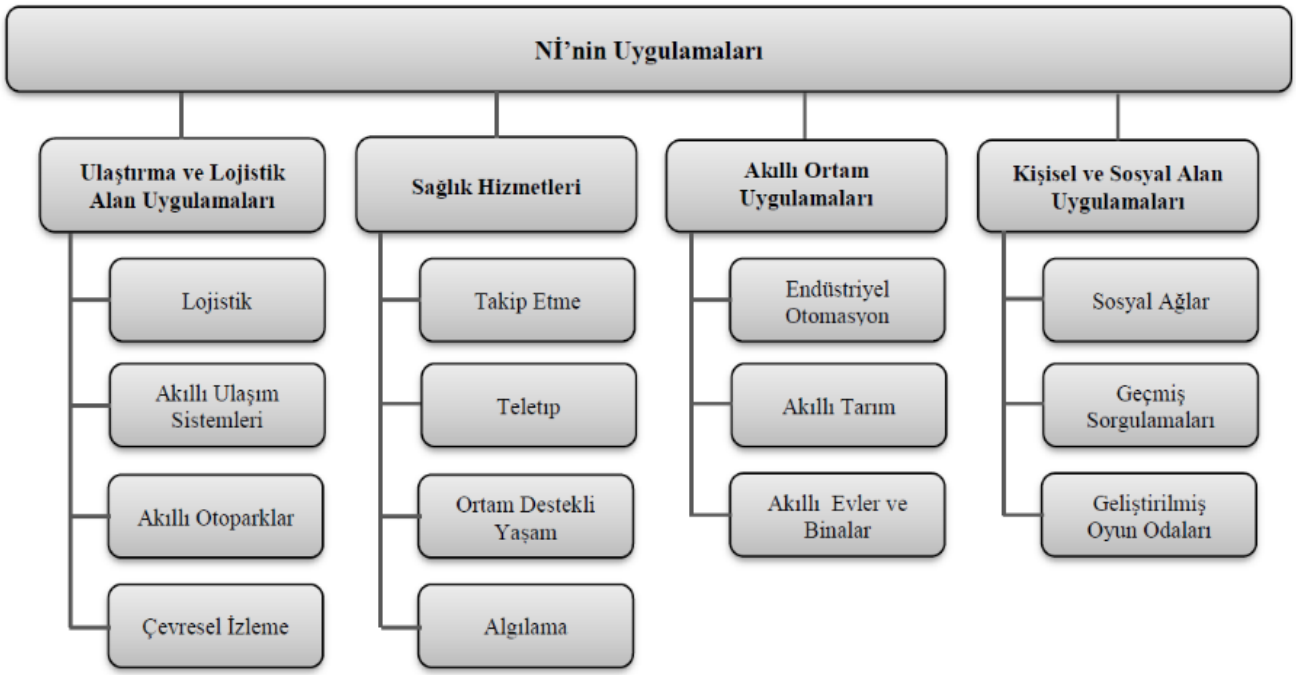
Tablo 4'te Nİ çerçevesinde kullanılan bazı yazılım platformlarının özellikleri verilmiştir.

5. Nİ'nin uygulamaları

Nİ kapsamdaki geliştirilen uygulamalar ağ erişilebilirliği, kapsama alanı, ölçeklenebilirlik, heterojenite, tekrarlanabilirlik, kullanıcı katılımı ve etkisi türlerine göre sınıflandırılabilir. Nİ bu uygulamaların organizasyon yapısı arasındaki bilgi akışını geliştiren önemli bir teknoloji olarak görülür. Şekil 5'te Nİ'nin uygulama alanları ve onlara bağlı bazı senaryolar gösterilmiştir.

Tablo 4: Nİ çerçevesinde kulanılan bazi yazılım platformların özellikleri.

Nİ Platformu	Cihaz Yönetimi	Entegrasyon Desteği	Güvenlik	Veri Toplama Protokolleri	Veri Analizi	Görüntüleme
Appcelerator	×	REST API	SSL, IPsec, AES-256	MQTT, HTTP	Gerçek zamanlı	✓
AWS IoT	✓	REST API	TLS, SigV4, X.509	MQTT, $HTTP_{1.1}$	Gerçek zamanlı	✓
Ericsson Framework	✓	REST API	SSL/TSL,Authentication (SIM based)	CoAP	Gerçek zamanlı, Tahmini analiz	×
IBM IoT Foundation Device Cloud	✓	REST ve Gerçek zamanlı API'lar	TLS, IBM Cloud SSO, LDAP	MQTT, HTTPS	Gerçek zamanlı	✓
EVRYTHNG - IoT	×	REST API	SSL	MQTT,CoAP, WebSockets	Gerçek zamanlı	✓
ThingWorx	✓	REST API	ISO 27001, LDAP	MQTT, AMQP, XMPP, CoAP, DDS, WebSockets	Gerçek zamanlı, Tahmini analiz	✓
2lemetry - IoT	✓	Salesforce, Heroku, ThingWorx APIs	SSL, ISO 27001, SAS70 Type II audit	MQTT, CoAP, STOMP, M3DA	Gerçek zamanlı	×



Şekil 5: Nİ'nin uygulama alanları ve onlarla bağlı bazı senaryolar.

Nİ tarım, imalat sanayii, ulaştırma, sağlık hizmetleri, çevre izleme, akıllı binalar ve başka birçok alan dahil olmak üzere geniş uygulama alanına sahiptir [79]. Aşağıda Nİ'nin bazı uygulama alanları üzerinde durulmuştur:

- **Ulaştırma:** Nİ'yi uygulayarak akıllı ulaşım sistemleri ortaya çıkarılabilir [80]. Akıllı ulaşım sistemlerinde kamu ve özel ulaşım araçları etkileşip gecikmeleri ve tıkanıklıkları önlemek için en iyi yolları seçebilir. Nİ'nin ulaşımda kullanılmasının bir başka örneği akıllı otoparklardır. Yoğun şehir merkezlerinde bir park yeri bulmak zaman alıcı olup trafik sıkışıklığının artmasına yol açabilir. Algılayıcıların yerleştirilmesi, sürücülere herhangi bir zamanda boş park alanı olup olmadığı bilgisini sağlayabilir,
- **Çevre izleme:** Nİ, çevre izleme alanına başarılı bir şekilde uygulanabilir. Bu durumda en önemli rol, dağıtılmış ve kendi kendine yönetilen algılayıcıların doğal olayları (örneğin, sıcaklık, rüzgâr, yağış, nehir yüksekliği vs.) algılama kabiliyetlerine bağlıdır, Gerçek zamanlı bilgi işlemenin ve çok sayıda cihazların kendi aralarında iletişim kurmak yeteneğinin birleşmesi, insan ve hayvan yaşamını tehlikeye atabilen anormal olayların tespiti ve izlenmesi için sağlam bir zemin sağlar [18],
- **Sağlık hizmetleri:** Nİ sağlık hizmetleri alanında önemli bir rol oynamaktadır. Nİ sağlık hizmetlerinde, bir hastanede hasta sayısını takip etmek, bir hastaya doğru ilacı belirlemek ve hastanın sağlık koşullarını uzaktan izlemek (Telemedicine - Teletıp olarak adlandırılır) gibi birçok şekillerde kullanılabilir [81]. Teletıp uzaktan teşhis ve tedavi uygulamasını içerir. Ortam destekli yaşam (Ambient Assisted Living-AAL), izlenmesi gereken ve evde yalnız kalan yaşlılar için teknik sistemler sağlar. Böylece algılayıcıları ve RFID etiketlerini kullanarak hastanın sağlık durumu periyodik bir şekilde algılanır. Alınan bilgilere dayanarak doktor uzaktan tıbbi destekte bulunabilir,

- **İmalat Sanayii:** İmalat sanayisinde Nİ endüstriyel otomasyonda kullanılabilmektedir. Endüstriyel otomasyon, ürünlerin daha çok miktarla, daha düşük maliyetle ve daha iyi kalitede üretimini sağlar. Buna ek olarak, Nİ birçok farklı formda fabrika işlemlerini etkileyebilir: riskli durumların tespitinden etkin lojistik yönetimine kadar [82], görev planlamadan makinaların durumunu izlemeye kadar [83]. Bu tür senaryolarda işlemleri izlemek için algılayıcılar ağ şeklinde üretim hattı boyunca yerleştirilirler. Ağdan toplanan veriler işlenmek üzere bilgisayar veya sunucuya gönderilir. Veriler işlendikten sonra alınan kararların temelinde, çalıştırıcılar tetiklenebilir. Bu tür karmaşık senaryolarda acil görevlerin zamanlaması veya riskli durumların uyarı mesajları gibi eylemlere diğerlerinden daha fazla öncelik gerekir,
- **Tarım:** Akıllı tarım alanında, Nİ'nin büyük oranda kullanımı olabilir [84],[85]. Akıllı tarım alanında, Nİ, tarımsal üretimi arttırmak için ve tarımda kullanılan kimyasalların çevreye verdiği zararları azaltmak için kullanılabilir. Buna ek olarak, Nİ bitkilerin büyümesini kontrol etmekte de yararlı olabilir. Bitkiler RFID etiketleri ve algılayıcılarla etiketlenir. Bitkinin büyümesinde ciddi veya beklenmeyen bir değişiklik olduğunda (örneğin sıcaklık veya nem nedeniyle), algılayıcılar bu durumu tespit ederler ve RFID etiketleri okuyucularına bu bilgileri iletip internet üzerinden paylaşırlar. Böylece çiftçi veya bilim adamı bu bilgilere uzaktan erişebilir ve gerekli önlemleri alabilir,
- **Akıllı evler ve akıllı binalar:** Binaları ileri Nİ teknolojileri ile donatmak hem kaynakların (elektrik, su gibi) tüketimini azaltmakta hem de binada yaşayan insanların memnuniyet düzeyini artırmakta yardımcı olabilir. Bunun etkisi hem ekonomik anlamda (düşük işletme giderleri) hem de çevre temizliği anlamında (binalara bağlı karbon emisyonlarının azaltılması) büyüktür. Bu uygulamada, anahtar rolü algılayıcılar oynarlar. Algılayıcılar kaynak tüketimini kontrol etmekte ve mevcut kullanıcıların ihtiyaçlarını ön görüp tespit etmekte kullanılır [19],
- **Güvenlik ve gözetim:** Güvenlik gözetimi kurumsal binalar, alışveriş merkezleri, fabrikalar , otoparklar ve diğer birçok kamu yerleri için zorunluluk haline gelmiştir. Nİ teknolojileri bu alanda mevcut çözümlerin performansını arttırmak için kullanılabilir [19]. Nİ kameraların yaygın dağıtım çözümüne ucuz bir alternatif olabilir. Ortam sensörleri tehlikeli kimyasal maddelerin varlığını tespit etmek için kullanılabilir. Ayrıca insanların davranışlarını izleyen algılayıcılar, şüpheli şekilde hareket edenleri değerlendirmek için kullanılabilir. Böylece verimli erken uyarı sistemleri inşa edilebilir. RFID etiketler vasıtasıyla kişisel kimlik tespiti de bir seçenektir,
- **Kişisel ve sosyal alan uygulamaları:** Bu alandaki uygulamalar sosyal ilişkilerin kurulması ve geliştirilmesi amacıyla tasarlanan uygulamalardır [12]. Bu uygulamalar sosyal ağ, geçmiş hareket dökümlerinin sorgulanması, kayıp ve hırsızlığın önlenmesine yönelik uygulamalardır. Bu uygulamalar aracılığıyla mevcut konum bilgisi ve aktivite bilgisinin paylaşılması, kaybedilen ve RFID etiketi taşıyan bir eşyanın RFID arama motoru ile bulunması, kaybedilen eşyanın konumunun tespiti gerçekleştirilmektedir.

6. Nİ'nin zorlukları

Nİ'nin ana kavramı birbirine bağlı nesnelerin yaygın ve yoğun bir şekilde bulunması. Nİ'de uygun bir şekilde etiketlenmiş herhangi bir nesne eşit bir şekilde etiketlenmiş başka nesneler ile internet veya başka bir protokol vasıtasıyla iletişim kurabilir ve iş ortaklığı yaparak ortak bir hedefi gerçekleştirebilir. Nİ tabanlı birçok uygulama geliştirilmesine rağmen, araştırmacı ve geliştiriciler tarafından karşılaşılan birçok tasarım zorlukları bulunmaktadır. Nİ vizyonunu gerçekleştirmek için aşılması gereken birçok engelin bulunduğu görülmektedir. Aşağıda Nİ uygulamaları ile gelen ana zorluklar özetlenmiştir [86]:

- **Kısıtlı kaynaklar:** Nİ'yi oluşturan nesneler genellikle kısıtlı kaynaklıdır. Düğümlerde bulunan, enerji, bellek, işletim birimi ve belirli bir görevi yerine getirmek için gereken kaynaklar sınırlıdır. Nİ nesneleri algılama, bilgi işleme ve iletişim için enerjiye ihtiyaç duyar. Nesnelerin enerji kaynağı elektrik şebekesi değilse enerji kaynağı pil olur (düğümler genellikle pille çalışır). Pillerin tükenmesi halinde, düğümlere birçok durumda insanlar tarafından erişilmesi zor ya da mümkün olmadığı için pillerin değişimi büyük sorun olabilir. Bu durum çok sayıda nesne kullanan ve nesneleri erişilmesi zor yerlere dağıtan uygulamalarda görülebilir. Bu durumun örneği, pille çalışan ve dolayısıyla sınırlı enerjiye sahip olan KAA'lardır. Kısıtlı kaynakların başka örneği RFID etiketlerinin oldukça sınırlı işletim birimleridir. Kısıtlı hesaplama kapasitesini en verimli şekilde korumak için, bu hesaplama kapasitesini sadece yerine getirmesi gereken görevi gerçekleştirmek için kullanmalıdır,
- **Heterojen yapı:** Nİ kavramı, bir sistemde farklı özellik ve yeteneklere sahip nesnelerin uyumlu şekilde çalıştığı ağ türü olarak nitelendirilmiştir. Bu açıdan sistemde yer alan cihazların, hesaplama ve iletişim açısından çok farklı yeteneklere ve fonksiyonlara sahip olması beklenmektedir. Aslında Nİ kavramının verimli ve doğru bir şekilde çalışmasını sağlayan en önemli unsurlardan biri uygulamalarda birçok teknoloji ve iletişim çözümlerinin entegrasyonudur. Ancak yüksek derecede heterojen sistemler hem mimari hem de protokol düzeyinde yönetim zorluklarını da beraberinde getirmektedir,
- **Ölçeklenebilirlik:** Nİ yapısında bağlı olan nesne sayısı geleneksel internet yapısında bağlı olan bilgisayar sayısından çok daha fazladır (birkaç katı olabilir) [87]. Nİ'de uygun bir şekilde etiketlenmiş her nesne sistemin bir parçası olabilir, buna istinaden;
    - İsimlendirme ve adresleme,
    - Veri iletişimi,
    - Veri ve bilgi yönetimi.
    - Servis sağlama ve yönetimi,

düzeyinde farklı ölçeklenebilirlik sorunları ortaya çıkabilmektedir. Ortaya çıkan bu zorlukları azaltmak için iki yaklaşım bulunmaktadır:

- Sistemin tüm katmanlarındaki aktarılan mesaj sayısını ve iletilen veri miktarını azaltmak [88],
- Bir görevi gerçekleştirmek için küçük bir düğüm kümesi seçmek [89],

- **Tanımlama (Kimlikleme):** Tüm nesnelerin tanımlanması tüm ağlarda olduğu gibi Nİ'de de önem arz etmektedir. Sistemdeki milyarlarca nesnenin benzersiz bir kimliğe ve adresleme metoduna ihtiyacı vardır. Mevcut durumda IPv4 protokolü 4 bayt adresi kullanarak her düğümü tanımlamaktadır [90]. Ancak, IPv4 adres sayısı çok yakın gelecekte hızlı bir şekilde azalacak ve yetersiz kalacaktır [91]. Bunun için günümüzde 128-bit adresleme metodunu kullanan IPv6 protokolünün kullanımı yaygınlaşmıştır [92]. Ancak, Nİ ortamında bant genişliği verimliliği, enerji tasarrufu ve sınırlı donanım kaynakları gibi özel ihtiyaçlara verimli ve uygun çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir,
- **Arama ve keşfetmek:** Dağıtık ağlarda (distrubuted networks) olduğu gibi, Nİ'de de bir görevi gerçekleştirmek için nesnelerin (düğümlerin) iş birliği yapması gerekmektedir. Bu iş birliği için ağdaki diğer nesnelerin aranması ve keşfedilmesi ağ için temel oluşturmaktadır [93]. Nİ yapısında keşif isteği yapan düğüm için diğer nesnenin tam konumu ve verinin formunun belirli olmaması zorluklar arasında görülmektedir. Bu nedenle verilerin ve nesnelerin bilgileri için bir ara blok kullanılabilir,
- **Mobilite:** Nİ'de bütün nesneler her zaman sabit olmayabilir, aslında birçok servisin mobil kullanıcılar tarafından dağıtılacağı beklendiğinden mobilete diğer zorluklar arasında yerini almıştır. Özellikle kullanıcılar veya hareketli nesneler hareket halindeyken bağlantı ve servis kopması sorunları ortaya çıkabilecektir [10]. Bunun örneği çeşitli cihazlara sahip olan kişi hayatının günlük aktivite sırasında mobil olabilir. Aynı kişi başka ve muhtemelen hareket halinde olan nesneleri sorgulayarak ya da onlardan istekte bulunarak etkinleştirebilir. Nİ'nin temel kavramı nesnelere bulundukları yerden bağımsız bir şekilde erişebilmek olduğundan, mobilite Nİ bağlamında ihmal edilebilir bir durum değildir. Bu nedenle Nİ'nin yönetimi ve kaynak hareketlilik şemaları buna göre geliştirilmelidir,
- **Güvenlik ve mahremiyet:** Nİ teknolojisi fiziksel çevre ile iç içe geçmiş olmasından dolayı, güvenliği ve mahremiyeti koruyacak bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Güvenlik Nİ uygulamalarının yaygınlaşmasında kritik bir öneme sahiptir. Bu yönüyle yenilikçi yaklaşımlar gerektiren üç temel zorluk ön plana çıkmaktadır. Bu zorluklar veri gizliliği, mahremiyeti ve güvenidir. Veri gizliliği, verinin sadece izin verilen kişiler tarafından görülüp, düzeltilmesini ifade etmektedir Mahremiyet, bir kişi ya da grubun kendilerine ait bilginin kimlere ve hangi şartlar altında paylaşılacağını belirleyen kuralları ifade etmektedir. Güvenlik açısından ise, sistem düzeyinde kilit özellik olmalıdır ve bunu çözen gerekli mimariler ve metodlar dikkate alınmalıdır. Bu çözümler Nİ'nin kullanıcıları tarafından kabul görmesi ve teknolojinin geniş bir şekilde benimsenmesi için önemli bir gereklilik temsil etmektedir,
- Güvenlik açısından daha salt bir şekilde düşündüğümüzde, Nİ tabanlı nesnelerin ve uygulamaların daha güvenilir ve saldırılara karşı daha dayanıklı olması için aşağıdaki sorunların adreslenmesi gerekir:

Veri gizliliği (Data confidentiality): Veri alımı, gönderimi ve işlemi Nİ uygulamalarının ayrılmaz bir parçasıdır. Bu verilerin çoğu kişisel bilgiler ve veriler olmasından dolayı bir şifreleme yoluyla korunması gerekir. Bunun için verilerin çevrimiçi olduğu her yerde, sadece yetkili kişiler tarafından erişebilir olduğundan emin olmak için güvenli soket katmanı protokolleri (Secure Sockets Layer protocol- SSL) kullanılabilinir. Ancak, veriler kablosuz protokol içinde de korunmalı. Veriler kablosuz bir şekilde iletilirken gizli ve şifrelenmiş olması beklenir. Böylece, konum ve kullanıcıya ait kişisel bilgiler gibi hassas veriler sadece ilgili kişiler tarafından erişilebilir olur. Veri gizliliği ile ilgili önerilerin tüm çözümleri bir türlü şifreleme yöntemlerine dayanır. Geleneksel şifreleme yöntemleri kaynak açısından verimsizdir (hem göndericiden hem de alıcıdan enerji ve bant genişliği bakımından büyük miktarda kaynak harcar). Bu tür çözümler, kısıtlı kaynaklara sahip olan Nİ uygulamaları tarafından kullanılamaz. Nİ çerçevesinde uygulanmak üzere geliştirilen yeni çözümler kaynakların kısıtlılığına bakmaksızın yeterli güvenlik seviyesi sağlayabilmesi gerekir.

Doğrulama (Authentication): Nİ uygulamalarında nesnelerden gelen (veya nesnelere iletilen) verilerin kimliğinin doğrulanması da açık ve zor bir araştırma alanıdır. Geleneksel ağlarda kimlik doğrulama, şifre, önceden paylaşılan anahtar (Ön Paylaşımlı Anahtar- pre shared key) ve açık anahtar şifreleme sistemleri (public-key cryptosystems) gibi birçok yöntemle gerçekleştirilir. Ancak, Nİ uygulamalarındaki nesnelerin ve ağların heterojenliği ve karmaşıklığı nedeniyle bu yöntemler Nİ için uygun olmayabilir. Ek olarak, hızla artan nesnelerin sayısı, anahtar yönetimini zor veya bazı durumlarda imkansız bir görev haline getirebilir. Örneğin, açık anahtar doğrulama yönteminde, genel kök sertifika yetkilisi (global root certificate authority - global root CA) olmadığından Nİ için bu yönteme dayanan bir kimlik doğrulama sistemi tasarlamak çok zor olabilir. Ayrıca, toplam nesnelerin sayısı genellikle çok büyük olduğundan dolayı her bir nesneye bir sertifika vermek mümkün olmayabilir [94]. Nİ için tasarlanan kimlik doğrulama yöntemleri, Nİ'nin tasarımsal özelliklerini dikkate almalıdır.

- **Nesnelerin yönetimi:** Nesnelerin yönetimi, Nİ uygulamalarının yaygınlaşması için ve geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır. Nesneler, farklı iletişim teknolojileri üzerinden yalnızca bağlantı ve iletişim kurabilir olmamalıdır, aynı zamanda uzaktan ya da kendini yönetebilen de olmalıdır. Nesne yönetim süreci karmaşıktır, ve nesnelerin açılıp kapanması, cihazların/ağın yapılandırılması, yazılımın güncellemesi, hataların giderilmesi, cihazların/ağın izlenmesi ve veri ve bağlantı istatistiklerinin toplanması gibi bir çok farklı işlemi içermektedir [95]. Etkili bir cihaz yönetimi, nesnelerin heterojenliğini ve mevcut kaynaklarının kısıtlığını hesaba katmalıdır. Buna ek olarak, kablosuz algılayıcı ağlar gibi birçok Nİ uygulamalarındaki nesnelerin dağıtılması için ve yapılandırması için büyük miktarda insan gücü gerekir. Bu sorun büyük ölçekli uygulamaların yaygınlaşmasına ve uzun vadeli sürdürülebilirliğine engel oluşturmaktadır. Büyük ölçekli Nİ uygulamalarının uygulanabilirlik oranını artıracak en önemli çözümlerden biri yapılandırılabilinir bir yazılım katmanı (configurable middleware) kullanmak. Bu ara katman, kendini

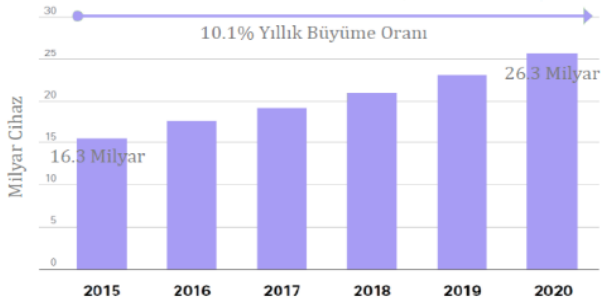
yapılandırabilen, kendini optimize edebilen ve kendini iyileştirme ve koruma yeteneklerine sahip olan akıllı cihaz yönetimini desteklemelidir. Örneğin, ağ geçidi cihazları (gateway devices), nesneleri tespit edip ve tespit edilen nesneleri yapılandırabilir olmalı, hatalı düğümleri tanımlamalı, karar verme ve hataları ortadan kaldırma yeteneklerine sahip olmalıdır [96]. Bu kapsamda, TR-069 [97], SNMP [98] ve NETCONF [99] gibi mevcut cihaz yönetimi çözümlerinin çoğu çok sayıdaki kısıtlı nesnelerin yönetimi için uygun değildir. Bu tür çözümler, yönlendiriciler, dağıtıcılar ve akıllı telefonlar gibi kaynak açısından zengin cihazların yönetimi için kullanılabilir. Nİ uygulamaları için tasarlanan nesne yönetim çözümleri, ölçülenebilirlik ve kısıtlı kaynaklar gibi Nİ'nin tasarımsal özelliklerini dikkate almalıdır.

Bunlara ek olarak IoT uygulamalarında karşılaşılması olası diğer zorluklar şu şekilde sıralanabilir:

- İnternetin her yerde ve ücretsiz bir şekilde bulunmaması.
- Düşük maliyetli akıllı algılama sistemlerin geliştirilememesi,
- Hataları tolere etme kabiliyeti (Fault Tolerance),
- Hizmet niteliği (QoS) yönetimi.

7. Nİ geleceği

Nİ akademisyen, mühendis ve araştırmacıların son yıllarda üzerinde yoğunlaştığı konuların başında gelmektedir. Özellikle bu alandaki yenilik, uygulama ve platformların gelecek beş veya on yıl içerisinde zirveye ulaşacağı düşünülmektedir. Nİ'de bulunan nesnelerin çoğu kısıtlı kaynaklara sahiptir, ancak gelecek nesil gömülü bilgi işleme cihazların fiziksel kaynaklarındaki beklenen artış nesnelerin kısıtlı kaynak sıkıntısını ortadan kaldıracaktır [100], [11]. Bu beklentiyi göz önünde bulundurarak ABD Ulusal İstihbarat Konseyi şu ifadeyi kullanmıştır "2025 itibari ile internete bağlanan düğümler (cihazlar) her günlük faaliyette yer alacaktır". Bu ifade gelecekte ortaya çıkabilecek fırsatları vurgulamaktadır. Aslında "İnsanların genel istekleri ve teknolojik gelişmeler birleştirildiğinde günümüzün internet teknolojisi gibi, Nİ de çok yaygın bir hale gelip ekonomik gelişme için paha biçilemez katkıda bulunabilecektir" [101]. 2015 yılında Nİ'de kullanılabilir cihaz sayısı 16.3 milyarken Şekil 6'da de görüldüğü gibi bu sayı 2020 yılında 10.1% yılık büyüme oranı ile 26.3 milyar cihaza yükselmesi beklenmektedir [102].



Şekil 6: Nİ'de kullanılabilir cihazların artışı.

Bu makalede şimdiye kadar açıklanan uygulamalar gerçekçi ve uygulanabilmeleri için gerekli teknolojilerin günümüzde kullanıldığı uygulamalardır. Dolayısıyla uygulamalar mevcut ya da kısa/orta dönemde kullanılabilecektir. Bu uygulamalar dışında, Nİ için gelecekte ortaya çıkabilen birçok uygulama düşünebilir. Bu uygulamalar için gereken teknolojiler (iletişim, algılama, malzeme, endüstriyel işleme gibi) halen bulunamadığından ya da gerçekleştirilmesi çok karmaşık olduğundan dolayı bu uygulamalar gelecek uygulamalar olarak adlandırılabilir. Gerekli araştırma ve olası etkileri açısından bu uygulamalar çok ilginç hale gelebilir. Bu tip uygulamaların yeterli araştırması [103] ve [12] numaralı çalışmalarda bulunmaktadır. Bu uygulamaların en dikkat çekici örneklerine aşağıda değinilmiştir:

- **Otonom araçlar (Self-driving vehicles):** Bu araçlar prototip aşamasında olmasına rağmen, hızlı bir şekilde gelişen bilgisayar endüstrisi ve Nİ teknolojileri sayesinde gelecekte gerçek hale gelebilir. Nİ teknolojisine dayanan otomotiv vizyon çiplerini kullanan araçlar, yayaları, trafik ışıklarını, yol şeridi işaretlerini, kalabalık ve tıkalı yolları, uykulu sürücüleri ve çevreden gelen diğer bilgileri tespit ve analiz edebilir. Araçlar, bu bilgileri kullanarak ve diğer araçlarla iletişim kurarak insan müdahalesi olmadan bilgisayarla kontrol edilebilir. Bu alanda, Google, Volvo gibi birçok araç üretim firması çalışmasına rağmen daha ilk aşamalarındadır ve çok daha fazla araştırma ve geliştirme gerektirmektedir,
- **Robot taksi:** Geleceğin şehirlerinde, robot taksi sürüleri iş birliği yapıp birlikte hareket ederek, ihtiyaç duyulan hizmeti tam zamanında verimli bir şekilde sağlayabilecektir. Öyle ki, bu taksiler etkili bir şekilde gerçek zamanlı trafik eylemlerine tepki verebileceklerdir. Ayrıca, kent dar boğazlarında trafik sıkışıklığını azaltmak için ve zirve saatlerinde taksilere duyulan ihtiyacı karşılamak için kendilerini uygun bir şekilde ayarlayacaktır. İnsan şoförün olduğu ve olmadığı durumlarda da kazaları önlemek için optimum hızlarda hareket edip yerleştirilen manyetik algılayıcılar vasıtası ile yolda olan diğer nesnelerle çarpışmaktan kaçınacaktır. Kullanıcıların konumları GPS üzerinden otomatik olarak takip edilecektir böylece müşterilerin ayrıntılı bir harita üzerinde işaret etmeleri belirli bir yer ve zaman için taksi isteme işlemi için yeterli olacaktır,
- **Kent bilgi modeli:** Kent Bilgi Modeli- KBM (City Information Model-CIM) çerçevesinde binaların ve kentsel tesislerin (yürüyüş yolları, bisiklet yolları, demiryolu hatları, otobüs geçitleri, kanalizasyon gibi ağır altyapılar vb.) durum ve performans bilgileri yetkili kurumlar tarafından izlenecektir. Bu bilgiler bir dizi API kullanarak üçüncü taraflar için erişebilinir olacaktır (gizli bilgiler hariç). Böylece KBM ile uygun olmayan hiç bir binanın veya tesisin yapılmasına izin verilmeyecektir. Ayrıca tesisat yönetimi hizmetleri kendi arasında ve KBM ile iletişim kurarak enerjiyi en uygun maliyetli ve kaynak verimli şekilde paylaşacaklardır. Bu yöntem ile enerji ve kaynak tasarrufu en iyi şekilde sağlanacaktır,
- **Gelişmiş oyun salonları:** Bu salonlarda ve içindeki oyuncular üzerinde Ni tabanlı cihazlar bulunur. Bu cihazlar, konum, hareket, nem, sıcaklık, ses, gürültü, kan basıncı, kalp atış hızı gibi bilgiler toplar. Oyun salonu bu bilgileri kullanarak oyuncunun heyecanını ve enerji seviyesini hesaplar ve oyuncunun durumuna göre oyunu kontrol eder. Örneğin, oyunun zorluğunu oyuncunun durumu ve başarı oranına göre ayarlayarak daha eğlenceli ve heyecanlı oyun ortamı yaratabilir.

Bunlara ek olarak ilk aşamalarında olan ya da çok yakın gelecekte yaygınlaşması beklenen uygulamaların özeti Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5: İlk aşamalarında olan ya da çok yakın gelecekte yaygınlaşması beklenen Nİ uygulamalarının özeti.

Alan	Uygulama	Açıklama
Akıllı Kentler	Akıllı Araç Otoparkı	Şehrin park yerlerinin izlenmesi.
	Yapısal Sağlık	Binalar ve köprüler gibi yapıların ve tarihi anıtlardaki titreşimlerin ve malzeme koşullarının izlenmesini içerir
	Trafiği Kontrol Etmek	Sürüş ve yürüme rotalarını optimize etmek için araç ve yaya kalabalıklarının izlenmesi
	Akıllı Aydınlatma Sistemi	Sokak lambalarının akıllı ve hava koşularına göre aydınlatmasını içerir
	Akıllı Yollar	Hava koşulları, kazalar, trafik sıkışıklığı gibi beklenmedik olaylara göre yön değiştirme ve uyarı mesajları gönderen Akıllı Karayolları
Akıllı Ortam İzleme Sistemleri	Orman Yangınlar için Alarm Sistemi	Orman yangınlarını tespit etmek için sıcaklık ve gaz seviyelerinin izlenmesini içerir
	Deprem için Erken Alarm Sistemi	Fay hatlarının ve titreme bölgelerinin devamlı izlenmesini içerir
	Hava Kirliliği	Arabalardan, fabrikalardan ve çiftliklerden, karbondioksit gibi zehirli gazların seviyesinin izlenmesini içerir
	Sel İzleme Sistemi	Nehirler, barajlar ve rezervuarlarda su seviyesi değişimlerinin izlenmesini içerir
Perakende Dağıtımlar	Tedarik Zinciri Kontrolü	Tedarik zinciri boyunca, depolama koşullarının izlenmesini ve ürün takibini içerir
	Akıllı Ürün Yönetimi	Depolama işlemlerini otomatikleştirmek için raflarda ve ambarlarda ürünlerin durumunun kontrolünü içerir
Akıllı Tarım	Akıllı Seralar	Meyve ve sebze üretimini ve kalitesini en üst düzeye çıkarmak için mikro iklim koşullarının kontrol etmesini içerir
	Bitkisel Sağlık	Mantar ve diğer mikrobik kirleticileri önlemek için toprakta ve samanda nem ve sıcaklık seviyelerinin kontrolünü içerir
Ev Otomasyonu	Enerji ve Su Kullanımında	Maliyet ve kaynak tasarrufu sağlamak için enerji ve su kullanımını kontrol etmeyi içerir
	Uzaktan Kumandalı Sistemler	Kazaları önlemek için ve enerji tüketimini azaltmak için kumandaların uzaktan kontrol etmesini içerir
	Akıllı Güvenlik sistemi	İzinsiz girmeleri ve pencere ve kapı açıklıklarını tespit etmek
E-sağlık	Akıllı İzleme Sistemi	Yalnız yaşayan yaşlılar veya engelliler için tıbbi takip sistemi
	Elektronik Sağlık Kaydı	Hastanın tıbbi geçmişini kaydetmek için kullanılır
	Tıbbi Buzdolabı	Aşıları, ilaçları ve organik malzemeleri depolayan dondurucuların kontrolü etmesini içerir

8. Nİ alanında araştırmaya açık konular

Bölüm 6'da, Nİ'nin karşıladığı tasarım zorlukları üzerinde durulmuştur. Bu zorluklardan araştırmaya açık konular hakkında bir fikir sahibi olunabilir. Ancak, Nİ kavramının güvenilir, sağlam ve verimli bir şekilde uygulanabilmesi için daha fazla araştırma yapılması gereken çeşitli konular vardır. Aşağıda araştırmaya açık bazı konulara değinilmiştir:

- **Tanımlama alanı:** Genel kimlik (Global ID) kavramı, kimlik yönetimi, kimlik şifreleme, kimlik doğrulama, kimlik kullanarak veri tabanı yönetimi ve çeşitli kimlik tanımlama kavramları için genel bir arama ve bulma hizmetlerinin oluşturulması gibi konuları adresleyen yeni teknolojilerin geliştirilmesinde daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır,
- **Mimari tasarım alanı:** Bu alanda dikkat edilmesi gereken bazı konular şunlardır: Uç uca (end-to-end) özelliklere sahip olan dağıtılmış açık mimarilerin tasarımı, heterojen sistemlerin birlikte çalışabilirliği, doğrudan erişebilirlik, net katmanlama ve fiziksel ağ bozulmasına karşı dayanıklılık, nesnelerin kendi yönetimine yardımcı olan merkezi olmayan mimariler vb.,
- **İletişim protokolleri alanı:** Bu alanda ele alınması gereken konular söyle sıralanabilir: Çoklu frekans protokolleri kullanarak enerji etkin iletişim yöntemleri geliştirmek, frekans tahsisi, yeni iletişim protokolleri için donanım güncellemelerinin ihtiyaçlarını azaltan yazılım tanımlı radyolar (software defined radios) ve yüksek performanslı, ölçeklenebilir algoritmaların ve protokollerin tasarımı.

Bunlara ek olarak, Nİ alanında araştırmaya açık bazı konuların özeti Tablo 6'da verilmiştir [12].

Tablo 6: Nİ alanında araştırmaya açık konular

Araştırma Konusu	Açıklama
Standartlar	Standartlaştırma çabaları çok olmasına rağmen, hiçbiri kapsamlı bir çerçeveye entegre değildir
Adresleme ve Hareketlilik Desteği	Nİ'de adreslemek için birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, hiçbiri hareketliliği destekleyen ve ölçeklenebilirlik ve farklı teknolojilere uyum sağlama problemi olan bir Nİ uygulaması için değildir
İsimlendirme	Bir referansı belirli bir nesnenin veya ilgili tanımlayıcının açıklamasına eşlemek için (ya da tersi için) nesne adı sunucularına (Object Name Servers - ONS) ihtiyaç vardır
Taşıma Protokolü	Mevcut taşıma protokollerin bağlantı kurma ve tıkanıklık kontrolü servisleri Nİ uygulamalar için yetersizdir. Ayrıca, bu protokollerin uygulanması aşırı derecede bellek gerektirir
Trafik Karakterizasyonu ve Hizmet Niteliği (QoS) Desteği	Nİ'de oluşturulması beklenen trafik, mevcut internette görülen trafik modelinden çok daha farklıdır. Buna göre, yeni hizmet niteliği (QoS) gereksinimleri tanımlamak ve bu gereksinimleri için yeni yöntemler gerekmektedir
Kimlik Doğrulama	İyi bir kimlik doğrulama yöntemi, Nİ'de olmayan zengin bir altyapıya ihtiyaç duyar. Nesnelerin çok kısıtlı kaynaklara sahip olması, kimlik doğrulamasını çok zor bir hale getirmektedir
Veri Bütünlüğü (Data Integrity)	Genellikle, verileri parolalarla koruyarak sağlanır. Ancak, Nİ'de desteklenen şifre uzunlukları, güçlü koruma seviyeleri sağlamak için çok kısa olabilir
Gizlilik	Kişilerin özel bilgileri izinsiz toplanabilir. Mevcut tekniklerle bunu engellemek imkansızdır

9. Sonuçlar

Nİ kavramı ve uygulamaları ile bilgi iletişim teknolojileri sektöründe ileriye dönük büyük bir adım atılmıştır. Gömülü cihazlar ve akıllı nesnelerin hızlı bir şekilde yaygınlaşması, gerçek ve sanal dünyanın sorunsuzca birleşmesine, heyecan verici araştırma ve iş imkânlarının oluşmasına zemin hazırlamıştır. Bu nedenlerden dolayı geleceğin interneti muhtemelen bugün kullandığımız internetten büyük ölçüde farklı olacaktır. Aslında, günümüzün internet kavramının sınırlayıcı bir faktör olduğu tespit edilmiştir. İnternet çoğunlukla bilgilerin yayınlaşması ve alınması için kullanılmıştır (bilgilerin nerede yayınlaştığına veya nereden alındığına aldırmadan). Bundan dolayı iletişimin ve internet çözümlerin ana odağı bilgi olmalıdır.

Bu makalede, sunduğu imkânlar ve fırsatlar sebebiyle gelişen bu yeni nesil ağ türü (Nİ) ele alınmıştır. Çalışmada Nİ teknoloji ve hizmetlerini geliştirmek için gereken ana konulara değinilmiştir. Önümüzdeki yıllara yön verecek araştırma konuları ve gelişmeye açık konu alanları hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, Nİ için en uygun uygulama alanları sunup ön görülen bazı geleceğin uygulamaları tanımlanmıştır.

Makalede sunulan uygulama ve yenilikçi yönlerin günlük hayatımıza olumlu etki edeceği düşünülmektedir. Bu bilgilerden hareketle geleceğin internetinin bugün kullandığımız internetten çok daha farklı olacağı açıktır. Uygulama alanının genişliği ve pazar eğilimlerinin gelecek yıllarda bu alanda büyük oranda artacağı düşünülürse, açık çalışma alanlarına ve sektörel ihtiyaçlara göre araştırma ve geliştirme yaparak yenilikçi çözümler geliştiren kişi ve kurumlar ön plana çıkacaktır.

10. Kaynaklar

[1] Internet World Stats. "International Website for up to date world Internet Usage and Statistics". http://www.internetworldstats.com/ (16.01.2017).

[2] Macaulay J, Buckalew L, Chung G. "Internet of Things in Logistics, A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry". DHL Trend Research|Cisco Consulting Services, Troisdorf, Germany, 2015.

[3] Markets and Markets (M&M) Research Group. "Internet of Things (IoT) & Machine-To-Machine (M2M) communication market by Technologies & Platforms, M&M Connections & IoT Components worldwide Market forecasts (2014–2019)". Researchandmarkets.com Publications, Dublin, Ireland, Technical Report, 2785177, 2014.

[4] Rose K, Eldridge S, Chapin L. "The Internet of Things (IoT): An Overview-Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World". Internet Society, Geneva, Switzerland, Technical Report, October 2015, 2015.

[5] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions". *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660, 2013.

[6] Tsai CW, Lai CF, Athanasios VV. "Future internet of things: open issues and challenges". *Wireless Networks,* 20(8), 2201-2217, 2014.

[7] The International Telecommunication Union. "The Internet of Things". ITU Internet Reports. 7th ed. Hammamet, Tunis, November 2005.

[8] Satyanarayanan M, Simoens P, Xiaoö Y, Pillai P, Chen Z, Ha K, Hu W, Amos B. "Edge analytics in the internet of things". *IEEE Pervasive Computing*, 14(2), 24-31, 2015.

[9] Want R, Schilit BN, Jenson S. "Enabling the internet of things". *IEEE Computer*, 48(1), 28-35, 2015.

[10] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M. "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications". *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* 17(4), 2347-2376, 2015.

[11] Wang F, Hu L, Hu J, Zhou J, Zhao K. "Recent advances in the ınternet of things: multiple perspectives". *IETE Technical Review*, 34(2), 122-132, 2017.

[12] Atzori L, Iera A, Morabito G. "The internet of things: A survey". *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805, 2010.

[13] Aggarwal CC, Ashish N, Sheth A. "The Internet of Things: A Survey from The Data-Centric Perspective". Managing and mining sensor data, C.C. Aggarwal, Ed. Springer US, 383-428, 2013.

[14] Alam F, Mehmood R, Katib I, Albeshri A. "Analysis of eight data mining algorithms for smarter ınternet of things (IoT)". *Procedia Computer Science*, 98, 437-442, 2016.

[15] Madakam S, Ramaswamy R, Tripathi S. "Internet of things (IoT): A literature review". *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164-173, 2015.

[16] Magrassi P, Panarella A, Deighton N, Johnson G. "Computers to Acquire Control of the Physical World". Stamford, USA, Gartner Research Report, T-14-0301, 2001.

[17] Li J, Wang Y, Sun T. "A Hybrid Genetic Algorithm For Task Scheduling In Internet Of Things". *ICIT 2013 The 6th International Conference on Information Technology,* Amman, Jordan, 8 May, 2013.

[18] Giusto D, Iera A, Morabito G, Atzori L. *The Internet of Things: 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communication.* 1st ed. New York, USA, Springer-Verlag New York, 2010.

[19] Miorandi D, Sicari S, Pellegrini FD, Chlamtac I. "Internet of things: Vision, applications and research challenges". *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497–1516, 2012.

[20] Shen G, Liu B. "The visions, technologies, applications and security issues of Internet of Things". *E -Business and E-Government (ICEE), 2011 International Conference on*, Shanghai, China, 6-8 May 2011.

[21] Tan L, Wang N. "Future internet: The Internet of Things". *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE)*, Chengdu, China, 20-22 August 2010.

[22] Akyildiz F, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. "Wireless sensor networks: a survey". *Computer Networks*, 38(4), 393-422, 2002.

[23] Jain D, Krishna PV, Saritha V. "A Study on Internet of Things based Applications". *arXiv preprint*, arXiv:1206.3891, 1-10, 2012.

[24] Ferro E, Potorti F. "Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: A survey and a comparison". *IEEE Wireless Communications*, 12(1), 12-26, 2005.

[25] Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M and Ayyash M. "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376, 2015.

[26] IEEE Standards Association. "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks- Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)". New York, USA, IEEE Standard 802.15. 4-2011, 2011.
[27] Ghosh A, Ratasuk R, Mondal B, Mangalvedhe N, Thomas T. "LTE-Advanced: Next-generation wireless broadband technology". *IEEE Wireless Communications*, 17(3), 10–22, 2010.
[28] Crosby GV, Vafa F. "Wireless sensor networks and LTE-A network convergence". *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks* , Sydney, Australia, 21-24 Oct. 2013.
[29] Xiong X, Zheng K, Xu R, Xiang W, Chatzimisios P. "Low power wide area machine-to-machine networks: Key techniques and prototype". *IEEE Communications Magazine*, *53*(9), 64-71, 2015.
[30] Sigfox. "Fransız araştırma ve geliştirme kuruluşu". http://www.sigfox.com/ (22.03.2017).
[31] Sornin N, Luis M, Eirich T, Kramp T, Hersent O. "Lorawan specification". Beaverton, USA, LoRa Alliance, Technical Report, V1.0, 2015.
[32] Ingenu. "Amerikan araştırma ve geliştirme kuruluşu". https://www.ingenu.com/ (22.03.2017).
[33] Telensa. "Kablosuz akıllı şehir kontrol sistemlerini yapan uluslararası bir kuruluş". http://www.telensa.com/ (22.03.2017).
[34] Sanchez-Iborra R, Cano MD. "State of the art in LP-Wan solutions for industrial IoT services". *Sensors*, 16(5), 708-722, 2016.
[35] Raza U, Kulkarni P, Sooriyabandara M. "Low power wide area networks: An overview". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855-873, 2017.
[36] Want R. "An introduction to RFID technology". *IEEE Pervasive Computing*, 5(1), 25-33, 2006.
[37] Mulligan G. "The 6LoWPAN architecture". *4th Workshop on Embedded* Networked Sensors, Cork, Ireland, 25-26 June, 2007.
[38] Shelby Z, Bormann C. *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*. 1st ed. Wiltshire, UK, John Wiley & Sons, 2009.
[39] Want R. "Near field communication". *IEEE Pervasive Computing*, 10(3), 4-7, 2011.
[40] Kshetrimayum RS. "An introduction to UWB communication systems". *IEEE Potentials*, 28(2), 9-13, 2009.
[41] Thakare S, Patil A, Siddiqui A. " The ınternet of things – emerging technologies, challenges and applications". *International Journal of Computer Applications*, 149(10), 21-25, 2016.
[42] Pilkington, K. "Revolv teams up with Home Depot to keep your house connected". Centre National d'Etudes des Telecommunications (CNET), 2014. https://www.cnet.com/news/revolv-teams-up-with-home-depot-to-keep-your-house-connected/ (16.01.2017).
[43] Doukas C. *Building Internet of Things with the ARDUINO*. Dougherty, GA, USA, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2012.
[44] De Sousa M. *Internet of Things with Intel Galileo*. 1st ed. Birmingham, UK, Packt Publishing Ltd, 2015.
[45] Intel Galileo Board. "Intel: Amerikan çok uluslu teknoloji şirketi". http://ark.intel.com/products/78919/Intel-Galileo-Board (16.01.2017).
[46] Raspberry PI. "A UK-based charity that works to put the power of digital making into the hands of people all over the world". https://www.raspberrypi.org/ (16.01.2017).
[47] Maksimović M, Vujović V, Davidović N, Milošević V, Perišić B. "Raspberry Pi as Internet of things hardware: performances and constraints". *1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering*, Vrnjačka Banja, Serbia, 2-5 June 2014.
[48] Hodges S, Taylor S, Villar N, Scott J, Bial D, Fischer PT. "Prototyping connected devices for the ınternet of things". *Computer*, 46(2), 26-34, 2013.
[49] Beagleboard. "Community supported open hardware computers for making.". https://beagleboard.org/ (16.01.2017).
[50] Principi E, Colagiacomo V, Squartini S, Piazza F. "Low power high-performance computing on the beagleboard platform". *5th European DSP Education and Research Conference (EDERC)*, Amsterdam, Netherlands, 13-14 September 2012.
[51] Kruger CP, Hancke GP. "Benchmarking Internet of things devices". *12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Porto Alegre, Brazil, 27-30 July 2014.
[52] Cubieboard. "Chinese company develops a series of open source hardware". http://cubieboard.org/ (16.01.2017).
[53] UDOO. "unique open-source project bringing Mini PC with Android, Linux and Arduino together in functional all-in-one embedded system". http://www.udoo.org/ (15.01.2017).
[54] Zolertia. "Spanish company offers hardware solutions for creating Internet of things applications". http://zolertia.io (16.01.2017).
[55] Eistec. "Mulle: Mulle wireless sensor platform". http://www.eistec.se/mulle/ (16.01.2017).
[56] Dunkels A, Gronvall B, Voigt T. "Contiki-A lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors". *29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04)*, Tampa, FL, USA, 16-18 Nov. 2004.
[57] Cao Q, Abdelzaher T, Stankovic J, He T. "The LiteOS operating system: Towards Unix-like abstractions for wireless sensor networks". *In Information Processing in Sensor Networks, 2008. IPSN'08. International Conference, IEEE*, 233–244, St. Louis, MO, USA, USA, 22-24 April 2008.
[58] Levis P, Madden S, Polastre J, Szewczyk R, Whitehouse K, Woo A, Gay D, Hill J, Welsh M, Brewer E, Culler D. *Tinyos: An operating system for sensor networks*. 1st ed. Heidelberg, Berlin, Springer,2005.
[59] Baccelli E, Hahm O, Gunes M, Wahlisch M, Schmidt TC. "RIOT OS: Towards an OS for the Internet of Things". *In Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2013 IEEE Conference on*, Turin, Italy, 14-19 April 2013.
[60] Open Auto Alliance. "A global alliance of technology and auto industry leaders committed to bringing the Android platform to cars since 2015". http://www.openautoalliance.net/ (16.01.2017).
[61] Android. "Mobile operating system developed by Google". https://www.android.com/ (16.01.2017).
[62] Koshizuka N, Sakamura K. "Ubiquitous ID: Standards for ubiquitous computing and the Internet of Things". *IEEE Pervasive Computing*, 9(4), 98–101, 2010.

[63] Kushalnagar N, Montenegro G, Schumacher C. *IPv6 over low-power wireless personal area networks (6LoWPANs): overview, assumptions, problem statement, and goals*. 1st ed. Fremont, USA, Internet Engineering Task Force (IETF), No. RFC 4919, 2007.

[64] Barnaghi P, Wang W, Henson C, Taylor K. "Semantics for the Internet of Things: Early progress and back to the future". *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, 8(1), 1-21, 2012.

[65] Schneider J, Kamiya T, Peintner D, Kyusakov R. *Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0*. 2nd ed. Cambridge, Massachusetts, USA, World Wide Web Consortium, Recommend. REC-Exi-20110310, 2014.

[66] Gigli M, Koo S. "Internet of Things: Services and applications categorization". *Advances in Internet of Things*, 1(2), 27-31, 2011.

[67] Xiaojiang X, Jianli W, Mingdong L. "Services and key technologies of the Internet of Things". *ZTE Communications*, 8(2), 26–29, 2010.

[68] Desai P, Sheth A, Anantharam P. "Semantic gateway as a service architecture for IoT interoperability". *2015 IEEE International Conference on Mobile Services*, New York, NY, 27 June-2 July 2015.

[69] Ning H, Hu S. "Technology classification, industry, and education for future internet of things". *International Journal of Communication Systems*, 25(9), 1230-1241, 2012.

[70] Yun M, Yuxin B. "Research on the architecture and key technology of internet of things (IoT) applied on smart grid". *In Proceedings of the International Conference on Advances in, Energy Engineering*, Beijing, China, 19-20 June 2010.

[71] Romero CDG, Barriga JKD, Molano JIR. "Big data meaning in the architecture of IoT for smart cities". *Data Mining and Big Data: First International Conference, DMBD 2016*, Bali, Indonesia, 25-30 June, 2016.

[72] Bandyopadhyay D, Sen J. "Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization". *Wireless Personal Communications*, 58(1), 49-69, 2011.

[73] Khan R, Khan SU, Zaheer R, Khan S. "Future Internet: The Internet of Things architecture, possible applications and key challenges". *10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, Islamabad, India, 17-19 December 2012.

[74] Yang Z, Yue Y, Yang Y, Peng Y, Wang X, Liu W. "Study and application on the architecture and key technologies for IOT". *2011 International Conference on Multimedia Technology,* Hangzhou, China, 26-28 July 2011.

[75] Wu M, Lu TJ, Ling FY, Sun J, Du HY "Research on the architecture of Internet of things". *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE),* Chengdu, China, 20-22 August 2010.

[76] Balamuralidhara P, Misra P, Pal A. "Software platforms for internet of things and M2M". *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(3), 487-498, 2013.

[77] Dayarathna M. "Comparing 11 IoT Development Platforms". https://dzone.com/articles/iot-software-platform-comparison (25.03.2017).

[78] Perera S. "IoT Analytics: Using Big Data to Architect IoT Solutions". http://wso2.com/whitepapers/iot-analytics-using-big-data-to-architect-iot-solutions/ (25.03.2017).

[79] Abdmeziem R, Tandjaoui D. "Internet of Things: Concept, Building blocks, Applications and Challenges".*arXiv preprint, arXiv:1401.6877*, 2014.

[80] Yongjun Z, Xueli Z, Shuxian Z. "Intelligent transportation system based on Internet of things". *In World Automation Congress (WAC),* Puerto Vallarta, Mexico, Mexico, 24-28 June 2012.

[81] Jara AJ, Zamora, MA, Skarmeta AFG. *An Ambient Assisted Living System for Telemedicine with Detection of Symptoms*. Editors: Mira J, Ferrández JM, Álvarez JR, de la Paz F, Toledo FJ. Bioinspired Applications in Artificial and Natural Computation Lecture Notes in Computer Science, 75-84, Heidelberg, Berlin, Germany, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

[82] Resch, A, Blecker T. *Smart Logistics–a Literature Review*. Editors: Blecker T, Kersten W, Ringle CM. Pioneering Supply Chain Design: A Comprehensive Insight Into Emerging Trends, Technologies and Applications, 91-102, Germany, Josef Eul Verlag Gmbh, 2012.

[83] Hipp C, Sellner T, Bierkandt J, Holtewert P. "Smart factory: System logic of the project epic". *1st International Conference on Smart Systems, Devices and Technologies*, Stuttgart, Germany, 27 May-1 June 2012.

[84] TongKe F. "Smart Agriculture based on cloud computing and IOT". *Journal of Convergence Information Technology*, 8(2), 210-216, 2013.

[85] Jayaraman PP, Yavari A, Georgakopoulos D, Morshed A, Zaslavsky A. "Internet of things platform for smart farming: experiences and lessons learnt". *Sensors*, 16(11), 1884, 2016.

[86] Mukhopadhyay SC. *Internet of Things: Challenges and Opportunities*. Cham, Switzerland, Springer Publishing Company, 2014.

[87] Mattern F, Floerkemeier C. *From the Internet of Computers to the Internet of Things*. Editors: Sachs K, Petrov I. From Active Data Management to Event-Based Systems and More, 242–259, Berlin, Germany, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.

[88] Li S, Xu LD, Wang X. "Compressed sensing signal and data acquisition in wireless sensor networks and ınternet of things". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(4), 2177-2186, 2013.

[89] Vlajic N, Xia D. "Wireless sensor networks: to cluster or not to cluster?". *International Symposium on on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, Buffalo, New York, USA, 26-29 June 2006.

[90] Postel J. "Internet official protocol standards". The Internet Society, Technical report, United States, RFC 1800, 1998.

[91] Goth G. "The End of IPv4 is Nearly Here — Really". *IEEE Internet Computing*, 16(2), 7-11, 2012.

[92] Weber S, Cheng L. "A survey of anycast in ipv6 networks". *IEEE Communications Magazine*, 42(1), 127–132, 2004.

[93] Edwards WK. "Discovery systems in ubiquitous computing". *IEEE Pervasive Computing*, 5(2), 70–77, 2006.

[94] Zhang ZK, Cho MCY, Wang CW, Hsu CW, Chen CK, Shieh S. "IoT security: ongoing challenges and research opportunities". *7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*, Matsue, Japan, 17-19 November 2014.

[95] Borgia E. "The ınternet of things vision: key features, applications and open issues". *Computer Communications*, 54, 1-31, 2014.

[96] Chen YK. "Challenges and opportunities of internet of things". *17th Asia and South Pacific Design Automation Conference*, Sydney, NSW, Australia, 30 January-2 February 2012.

[97] Blackford J, Digdon PM, Aptean. "CPE WAN Management Protocol". Broadband Forum, Fremont, USA, Technical Report, TR-069, 2013.
[98] Harrington D, Presuhn R, Wijnen B. "An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks". https://tools.ietf.org/html/rfc3411.html (28.03.2017).
[99] Enns R, Bjorklund M, Schoenwaelder J, Bierman A. "Network Configuration Protocol (NETCONF)". https://tools.ietf.org/html/rfc6241 (29.03.2017).
[100] Kaur S. "On-chip networks!". *IETE Technical Review*, 30(3), 168-72, 2013.
[101] National Intelligence Council. "Disruptive Civil Technologies: Six Technologies with Potential Impacts on US Interests Out to 2025". United States, Conference Report CR 2008-07, 2008.
[102] Cisco. "The Zettabyte Era: Trends and Analysis". https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/vni-hyperconnectivity-wp.html (10.05.2017).
[103] Sun W, Liu J, Zhang H. "When smart wearables meet ıntelligent vehicles: Challenges and future directions ". *IEEE Wireless Communications*, 24(3), 58-65, 2017.