



**BİLİŞİM VE BULUT BİLİŞİM SİSTEMLERİNİN
DİŞLİ MEKANİZMASI FİZİKSEL SİSTEMİNE
AİT TİTREŞİM SİNYALLERİNİN
DEĞERLENDİRMESİ ÜZERİNDEN
PERFORMANS ANALİZİ**

İklim Rabia ÖĞDÜM

**Yüksek Lisans Tezi
Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ
Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2021**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KENAR BİLİŞİM VE BULUT BİLİŞİM SİSTEMLERİNİN DİŞLİ MEKANİZMASI
FİZİKSEL SİSTEMİNE AİT TİTREŞİM SİNYALLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ
ÜZERİNDEN PERFORMANS ANALİZİ**

(A Performance Analysis on Edge Computing and Cloud Computing Systems via the
Evaluation of Vibration Signals Produced from the Physical System of Gear Mechanism)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İklim Rabia ÖĞDÜM

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ

Erzurum
Mart, 2021

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

KENAR BİLİŞİM VE BULUT BİLİŞİM SİSTEMLERİNİN DİŞLİ MEKANİZMASI
FİZİKSEL SİSTEMİNE AİT TİTREŞİM SİNYALLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ
ÜZERİNDEN PERFORMANS ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ danışmanlığında, İklim Rabia ÖĞDÜM tarafından hazırlanan bu çalışma, 03/05/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Abdullah NARALAN <i>Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Burak ERKAYMAN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN

Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ* danışmanlığında sunulan "KENAR BİLİŞİM VE BULUT BİLİŞİM SİSTEMLERİNİN DİŞLİ MEKANİZMASI FİZİKSEL SİSTEMİNE AİT TİTREŞİM SİNYALLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ ÜZERİNDEN PERFORMANS ANALİZİ" başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	2	30
Materyal ve Yöntem	2	35
Bulgular	1	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	1	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
İklim Rabia ÖĞDÜM	Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ
3.5.2021	3.5.2021
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayımlanmasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

Not: Bu form, Tezin son şekline uygun olarak bilgisayar ortamında doldurulmalı, çıktısı imzalanıp Tezin sonuna eklenmelidir.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENAR BİLİŞİM VE BULUT BİLİŞİM SİSTEMLERİNİN DIŞLI MEKANİZMASI FİZİKSEL SİSTEMİNE AİT TİTREŞİM SİNYALLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ ÜZERİNDEN PERFORMANS ANALİZİ

İklim Rabia ÖĞDÜM

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Bilal USANMAZ

Amaç: Bu tez çalışmasında Kenar Bilişim ve Bulut Bilişim sistemlerinin birbirlerine göre performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kenar Bilişim sistemini temsilen bir dışlı mekanizmasının kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla dışlı mekanizmasının, nesnelerin interneti kapsamında sensör ve gömülü devre ile donatılarak bağlı hale getirilmesi düşünülmüştür. Diğer taraftan Bulut Bilişim sistemini temsil eden bir uzak sistemin oluşturulmasına karar verilmiştir. Fiziksel sistemin ürettiği titreşim verileri arasında normal olmayan titreşim değerlerinin tespiti için bir makine öğrenmesi alt tekniği olan anomali algoritması kullanılması düşünülmüştür. Algoritma, Kenar ve Bulut Bilişim sistemlerinin her ikisine de yerleştirilerek fiziksel sistemden iletilecek titreşim verilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çeşitli metrikler tanımlanarak farklı aşamalarda her iki sistemin karşılaştırmalı performans analizinin yapılması hedeflenmiştir.

Yöntem: Titreşim verisinin elde edilebilmesi için bir deney tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla elektro-mekanik bir dışlı mekanizması kullanılmıştır. Nesnelerin interneti prensipleri gözetilerek fiziksel sisteme dijital bileşenler eklenmiştir. Anomali tespiti için LOF (Local Outlier Factor) algoritması kullanılmıştır.

Bulgular: Metriklerin değerlendirilmesi neticesinde, Kenar Bilişim sisteminin aşamalar arası veri transferi ve cevap verme sürelerinin Bulut Bilişim sistemine göre daha performanslı olduğu tespit edilmiştir. Anomali tespiti gibi işlem gücü gerektiren aşamalarda ise Bulut Bilişim sisteminin daha fazla performans gösterdiği izlenmiştir. Kenar Bilişim sisteminin donanımsal kaynak kısıtlarından kaynaklanan işlem gücü zayıflığına karşın fiziksel sisteme bütünleşik olmasının getirdiği üstünlükler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Sonuç: Sistemlerin karşılaştırılması sonucunda sistem içi veri transferi ve işlenmiş cevabın geri döndürülmesi açısından kaynağa yakın olmanın daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Verilerin değerlendirilme sürecinde ve işlem gücü gerektiren aşamalarda ise bulut sistemin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Kenar sistemin kaynak erişim kısıtı yaşamayı karmaşık hesaplamaları yapmasını güçleştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: kenar bilişim, bulut bilişim, nesnelerin interneti, gecikme, anomali tespiti, gömülü sistemler

Mart 2021,75 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

A PERFORMANCE ANALYSIS ON EDGE COMPUTING AND CLOUD COMPUTING SYSTEMS VIA THE EVALUATION OF VIBRATION SIGNALS PRODUCED FROM THE PHYSICAL SYSTEM OF GEAR MECHANISM

İklim Rabia ÖĞDÜM

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Bilal USANMAZ

Purpose: In this thesis, it was aimed to evaluate the performance of Edge Computing and Cloud Computing systems relative to each other. It is aimed to use a gear mechanism to represent the Edge Computing system. For this purpose, the gear mechanism is thought to be connected by equipping it with sensors and embedded circuits within the scope of the Internet of Things. On the other hand, it was decided to create a remote system representing the Cloud Computing system. It is considered to use an anomaly algorithm, which is a machine learning sub-technique, to detect abnormal vibration values among the vibration data produced by the physical system. It is aimed to evaluate the vibration data to be transmitted from the physical system by placing the algorithm in both Edge and Cloud Computing systems. For this purpose, various metrics were defined, and it was aimed to make comparative performance analysis of both systems at different stages.

Method: An experimental design has been made to obtain vibration data. For this purpose, an electro-mechanical gear mechanism has been used. Digital components have been added to the physical system by observing the principles of the Internet of Things. LOF (Local Outlier Factor) algorithm has been used for anomaly detection.

Findings: As a result of the evaluation of the metrics, it was determined that the between stages data transfer and response times of the Edge Computing system are more efficient than the Cloud Computing system. It was observed that the Cloud Computing system performed more in stages that require processing power such as anomaly detection. Despite the processing power weakness of the Edge Computing system due to hardware resource constraints, the advantages of being integrated into the physical system are presented comparatively.

Result: As a result of the comparison of the systems, it has been observed that being close to the source is more effective in terms of intra-system data transfer and return of the processed response. It has been observed that the cloud system is more advantageous in the data evaluation process and in stages that require processing power. The edge system has resource access constraints, making it difficult to perform complex calculations.

Keywords: edge computing, cloud computing, internet of things, latency, anomaly detection, embedded systems

March 2021, 75 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	2
Nesnelerin İnterneti.....	2
Bulut Bilişim	3
Kenar Bilişim	6
Kenar Bilişim Tanımı.....	7
Kenar Bilişim Tarihçesi	8
Kenar Bilişim Hiyerarşisi.....	9
Kenar Bilişim Zorlukları ve Faydaları	11
Kenar Bilişim Temel Mekanizmalar	17
Kenar ve Bulut Bilişim İlişkisi.....	19
MATERYAL VE METOT.....	21
Mevcut Teknolojiler.....	22
Deney Tasarımı	31
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	39
Tartışma.....	56
SONUÇ ve ÖNERİLER	57
KAYNAKÇA	61
ÖZGEÇMİŞ.....	64

TEŞEKKÜR

Yüksek Öğretim Kurulunun belirlemiş olduğu öncelikli alanlar kapsamındaki tez çalışmasının hazırlanmasında destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Bilal USANMAZ başta olmak üzere, katkılarından dolayı Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Öğretim Görevlisi Selim TEZGEL ve yine aynı bölüm son sınıf öğrencilerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi, ilk eğitim hayatımdan beri yanımda olan ilkokul öğretmenim Perihan KALAYCI, annem Güler ÖĞDÜM ve babam Nurettin ÖĞDÜM'e ithaf ediyorum.

İklim Rabia ÖĞDÜM



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

3D	: Üç Boyut (Three Dimensional)
DSA	: Derin Sinir Ağı (Deep Neural Network)
ISP	: İnternet Servis Sağlayıcısı (Internet Service Provider)
LAN	: Yerel Ağ Bağlantısı (Local Area Network)
LDR	: Yerel Erişilebilirlik Yoğunluğu (Local Reachability Density)
LOF	: Yerel Aykırılık Faktörü (Local Outlier Factor)
MAN	: Yerleşke Ağ Bağlantısı (Metropolitan Area Network)
MEC-ConPaas	: Mobil Uç Bulut Platformu (Mobile Edge Computing)
NIC	: Ağ Arabirim Kartı (Network Interface Card)
SCALE	: Güvenlik, Biliş, Çeviklik, Gecikme, Verimlilik (Security, Cognition, Agility, Latency, Efficiency)
SCANC	: Depolama, Hesaplama, Hızlandırma, Ağ Oluşturma, Kontrol Storage, Compute, Acceleration, Networking, Control)
sn	: Saniye
TCP/IP	: Geçiş Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)
UDP	: Kullanıcı Veri Bloğu Protokolü (User Datagram Protocol)
UTP	: Korumasız Bükümlü Kablo (Unshielded Twisted Pair)
WAN	: Geniş Ağ Bağlantısı (Wide Area Network)
Wi-Fi	: Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity)
WLAN	: Kablosuz Yerel Ağ Bağlantısı (Wireless Local Area Network)
Σ	: Matematiksel Toplam Sembolü
-	: Matematiksel Fark Sembolü
—	: Matematiksel Kesir Sembolü
	: Matematiksel Mutlak Değer Alma Sembolü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Nesnelerin İnterneti iletişim ağı	2
Şekil 2. Bulut Bilişim yapısı.....	4
Şekil 3. Bulut Bilişim modelleri.....	5
Şekil 4. Bulut hizmeti sağlayıcıları grafik gösterimi.....	6
Şekil 5. Kenar Bilişim örnek dağılımı.....	6
Şekil 6. Bulut ve Kenar Bilişim ilişkisi.....	7
Şekil 7. Kenar Bilişim Hiyerarşisi.....	11
Şekil 8. Hizmet süresi karşılaştırma	12
Şekil 9. İstemci ve sunucu arasında mesafe karşılaştırma.....	16
Şekil 10. Kenar Bilişim ve Bulut Bilişim arasında işlem süreleri karşılaştırılması	22
Şekil 11. Raspberry Pi gömülü cihazı	23
Şekil 12. Titreşim sensörü MEAS	24
Şekil 13. Dişli sisteme ait düzenek.....	24
Şekil 14. Kenar sistemin düzenek ile birleştirilmiş şekli	25
Şekil 15. K mesafesi gösterimi.....	28
Şekil 16. Erişilebilirlik mesafesi gösterimi	28
Şekil 17. Yerel erişilebilirlik yoğunluğu (LDR)	29
Şekil 18. Yerel aykırılık değeri sonuçlandırılması.....	30
Şekil 19. LOF Algoritması	30
Şekil 20. Deney tasarımı ana şeması	32
Şekil 21. Kenar Bilişim sistemi (Fiziksel sistem dahil)	33
Şekil 22. Bulut Bilişim sistemi.....	35
Şekil 23. Kenar Bilişim sistemi ve Bulut Bilişim sistemi ağ metrikleri.....	36
Şekil 24. Toplanan veri seti (a): 5 sn., (b): 30 sn., (c): 300 sn.	38
Şekil 25. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 genel sonucu	39
Şekil 26. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 python katmanına verinin ulaşım süreleri	40
Şekil 27. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 verinin analiz algoritmasına ulaşım süreleri.....	41
Şekil 28. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 verinin analiz süreleri	42
Şekil 29. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 analiz sonucunun sisteme döndürülme süreleri	42
Şekil 30. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D5 ağ gecikmesinin süresi	43
Şekil 31. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 genel sonucu	44
Şekil 32. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 python katmanına verinin ulaşım süreleri	44
Şekil 33. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 verinin analiz algoritmasına ulaşım süreleri.....	45

Şekil 34. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 verinin analiz süreleri	45
Şekil 35. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 analiz sonucunun sisteme döndürülme süreleri	46
Şekil 36. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D30 ağ gecikmesinin süresi	46
Şekil 37. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 genel sonucu	47
Şekil 38. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 python katmanına verinin ulaşım süreleri	48
Şekil 39. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 verinin analiz algoritmasına ulaşım süreleri	48
Şekil 40. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 verinin analiz süreleri	49
Şekil 41. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 analiz sonucunun sisteme döndürülme süreleri ...	50
Şekil 42. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 ağ gecikmesinin süresi	50
Şekil 43. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 genel sonucu	51
Şekil 44. Kenar ve Bulut Sistemleri D5,D30,D300 python katmanına verinin ulaşım süreleri	52
Şekil 45. Kenar ve Bulut Sistemleri D5,D30,D300 için analiz algoritmasına ulaşım süreleri	52
Şekil 46. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 verinin analiz süreleri	53
Şekil 47. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 için sonucun sisteme dönme süreleri	54
Şekil 48. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D5, D30, D300 ağ gecikmesinin süresi	54

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kenar ve Bulut Bilişim Özellik Karşılaştırılması	20
Tablo 2. Kenar ve Bulut Sistemleri Değerlendirme Sonuçları	55



GİRİŞ

Fiziksel öncelikli sistemlerin dijital bileşenler ile donatılması veya sistemin dijital öncelikli olarak üretilmesi özellikle 2000'li yıllardan itibaren üstel bir artış göstermiştir. Kapalı döngü kontrol ve kumanda platformları yerini anlık izlenebilir, uzaktan yönetilebilir ağ tabanlı mimarilere bırakmıştır. Teknolojik yenilikler birbirlerini destekler biçimde artan yönde hızlı bir seyir izlemiştir. Sensör ve kontrol teknolojileri, gömülü sistem teknolojileri, yazılım ve iletişim teknolojileri ile bunların birbirleri arasında yaptıkları teknolojik geçişleri neticesinde geleneksel yapılan birçok işin yapılışı köklü biçimde değişim göstermiştir. Teknik yöntem portföyü genişlemiş olup sektör fark etmeksizin çözümün farklı alternatifleri arasındaki verimliliklerinde karşılaştırılır duruma gelinmiştir. Ortaya konan bir teknik yöntem başlığı daha ömrünü çeyreklemeyen yeni bir yöntem devreye alınır olmuştur. Bulut tabanlı sistemler, sis tabanlı sistemler, nesnelerin interneti, endüstriyel nesnelerin interneti, sanal sistemler, konteyner tabanlı sanal sistemler geçiş süreçlerini tamamlamadan daha yenisine daha iyisine ihtiyaç duyulmuştur.

Tüm bu teknolojik ilerleyiş sürecinde dikkat çeken en önemli nokta ise veri miktarının üstel artışı olmuştur. Yapılan yeniliklerin arkasında artan veri miktarının depolanması, veri kaynaklarının yönetimi, verinin işlenip değerlendirilmesi ve işlenmiş verinin tekrar sisteme yararlı biçimde geri beslenmesi bulunmaktadır. Fiziksel sistem tarafından üretilen verinin uzak sistemlerde değerlendirilip geri döndürülmesi başlangıçta yönetilebilir görünüp çözümler bu yönde geliştirilmiş olsa da artan veri miktarı mevcut yöntemlerin sağlıklı çalışmasını tehdit etmektedir. Uzak sistemlerin çalışmasında yaşanan sorunları gidermek için birçok çözüm geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında fiziksel sistemlerin çeşitli ortamlarda ürettiği verinin, fiziksel sistemin işleyişini sağlamak ve işlenerek geri döndürülmesi için Kenar Bilişim çözümü önerilmiştir. Bu amaçla deneysel çalışma yapılmıştır. Dişli, şaft ve bağlantı elemanları 3D yazıcıda üretilen mekanik sistem diğer parçaları olan motor, kayış, kasnak, rulman ve elektrik bileşenleri ile birleştirilerek deney seti haline getirilmiştir. Sistem, Kenar Bilişim mimarisi çerçevesinde dijitalleştirilmiştir. Sistemin titreşim verileri elde edilerek bu verilerin anomali algoritmasında değerlendirilmesi üzerinden Kenar Bilişim ve bulut tabanlı uzak sistemlerin karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Sonuçlar bilimsel göstergeler kullanılarak sunulmuştur.

KURAMSAL TEMELLER

Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti (Nİ) 1999 yılında Kevin Ashton tarafından literatüre kazandırılmıştır (Ashton 2009). Aradan geçen süre içerisinde Nesnelerin İnterneti bütün disiplinlerdeki çalışmalarda anılır hale gelmiştir (Anonim 2019).

Nesnelerin İnterneti için en iyi tanım, fiziksel ortamları otomatik olarak düzenleme, bilgi, veri ve kaynakları paylaşma, durumlarla ve ortamdaki değişikliklerle tepki veren kapsamlı bir akıllı nesneler ağı şeklinde verilebilir.

Nesnelerin İnterneti kapsamında, fiziksel nesne veya objelerin dijital bileşenler kazanarak birbirleri arasında heterojen bir yapılanma oluşturması söz konusudur. Oluşturulacak yapılanmada çeşitli, çok sayıda ve küçük boyutlarda kablosuz veya kablolu teknoloji kullanabilen sensörler ile bilgi toplamak, verileri izlemek ve işlemek mümkündür. Ortamdaki algılayıcı cihazlardan ve üretimdeki veri terminallerinden gelen, gerçek zamanlı sürekli veri akışı, internet ortamında Bulut Servis Sağlayıcılar tarafından verilen depolama, veri tabanı, uygulama hizmetleri ile Bilgi Sistemleri tarafından kullanılmaya hazır hale getirilmektedir. İnsan, veri ve nesnelerin birbirleriyle etkileşimi amaçlanmaktadır (Moghe and Lakkadwala 2012).



Şekil 1. Nesnelerin İnterneti iletişim ağı (Gözüm 2020).

Nesnelerin interneti, günlük hayatta kullanılan cihazların ağ teknolojisine yani internete dahil olmasını ve gerektiğinde birbirleriyle iletişim kurmasını sağlar. Akıllı ev uygulamaları, akıllı televizyonlar, tedarik zinciri, lojistik, tarım süreçleri vb. cihazların çevrim içi kontrolü, sağlık uygulamaları ile hastalık ön tanısı veya sağlık kuruluşlarına ya da doktorlara gerekli olan bilgilerin aktarılması ile olası olumsuz durumların önceden haber verilmesi, Nesnelerin

İnternetine birer örnek olarak verilebilir. Şekil 1’de verildiği üzere etrafımızda bulunan nesneler eğer fiziksel öncelikli ise dijital bileşenler kazandırılarak büyük ağa dahil edilebilecektir.

Nesnelerin İnterneti teknolojilerinden yararlanılarak birçok uygulama geliştirilmeye başlanmıştır (Petrolo et al. 2017). Akıllı araçlar, haritalara çevrimiçi erişim, çoklu ortam içeriği, konumsal bilgi verme, acil durum uyarı sistemi gibi uygulamalar bunlar arasında öne çıkmaktadır.

Koduru ve arkadaşları (Koduru et al. 2020) hava koşullarında ani bir değişiklik olması durumunda uyarı veren bir sistem geliştirmişlerdir. Ortamdan elde edilen verilerdeki anormallikler Nesnelerin İnterneti tabanlı bir web sağlayıcısı ile takip edilmiştir.

Bir endüstrinin kontrolü ve izlenmesi için Nesnelerin İnterneti tabanlı gerçek zamanlı enerji izleme sistemini literatüre sunan Mudaliar ve arkadaşları, Raspberry Pi ile endüstrinin mevcut enerji sayaçlarından alınan verileri toplayıp depolayan bir uygulama geliştirmişlerdir (Mudaliar et al. 2020). İzleme sistemi enerji tüketimini en aza indirmek ve günlük enerji modellerini anlamak için faydalı görülmüştür.

Nesnelerin İnterneti genellikle Bulut Eksenli (Cloud Centric) bir mimariye sahiptir. Fiziksel nesneler veri merkezleri tarafından yönetilen web kaynakları olarak temsil edilmektedir. Kablolu ya da kablosuz sensörler, aktüatörler ve okuyucular gibi çeşitli bileşenler sayesinde fiziksel nesnelerin internet ile bağlantısı Nesnelerin İnterneti kapsamında gerçekleştirilir. Sistemin bütünü içerisinde iletişim alt yapısının tamamlanması için modemler, yönlendiriciler, baz istasyonları vb. ara bağlantı düğümleri de bulunmaktadır.

Nesnelerin İnterneti platformu genel düşünüldüğünde gömülü sistemler, yazılım ve bulut servisleri olarak üçlü kombinasyona sahiptir.

- Gömülü sistemler, uçta görev yapan gömülü cihazlardır,
- Ara katman yazılımları, gömülü sistem cihazlarını bulut servislerine bağlar,
- Bulut servisleri, depolama, işleme ve yönetim hizmetlerini sağlar.

Bulut Bilişim

İnternet ağına bağlanan bileşen sayısının hızlı artışı ile devasa büyüklükte verilerin aktarılması, işlenmesi ve depolanması gibi gereksinimler Bulut Bilişim kavramını doğurmuştur. Her geçen gün hizmet çeşitliliği ve teknolojik gelişmişliğini artıran Bulut Bilişim verilerin depolanması, işlenmesi, hizmet olarak uygulamalar vasıtasıyla sunulması gibi servisler ile öne çıkmaktadır. Şekil 2’de görüleceği üzere merkezi bir noktadan farklı uç sistemlere hizmet veren bir mimari ile temsil edilen Bulut Bilişim artan ihtiyaçlar ve çeşitlilik nedeniyle Sis Bilişim

(Fog Computing), Kenar Bilişim (Edge Computing) gibi yeni kavram ve mimarilerin ortaya çıkmasını gerektirmiştir.



Şekil 2. Bulut Bilişim yapısı (Anonymous 2020).

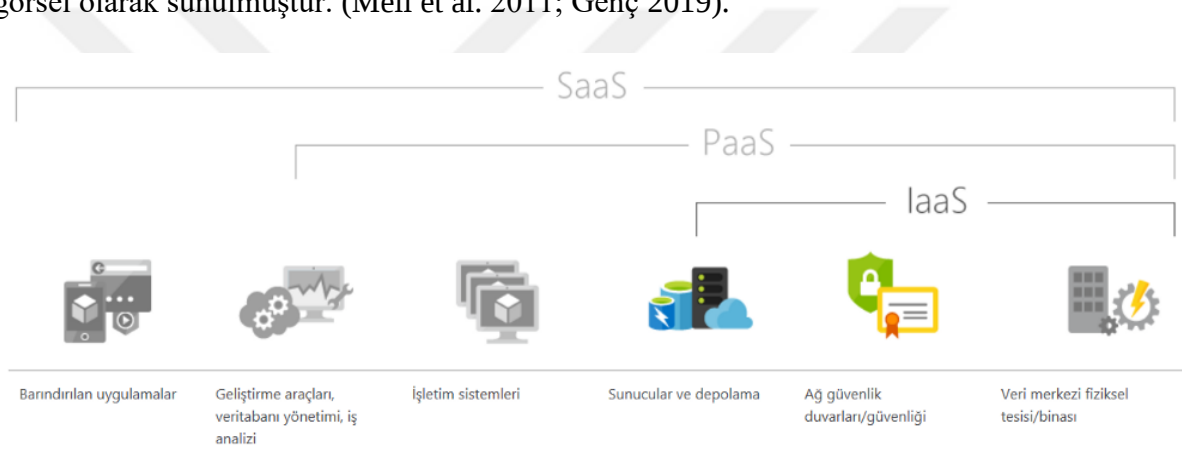
Ağ bağlantısına sahip olup en uçta bulunan (kenar) cihazlar, verilerin işlenmesi için geleneksel yapıda Bulut Bilişim kaynağını kullanmaktadırlar. Bulut Bilişimin geniş alanda benimsenmiş olması, işleyişinin esnekliği ve ihtiyaca uygun maliyet seçenekleri gibi faydalarından ötürü yaygın kullanımı söz konusudur.

Öte yandan aynı geniş çaplı benimseme, gerçek zamanlı iletişim, düşük gecikme süresi ve mobil uygulamalar gibi bazı uygulama sınıflarının tüm gereksinimlerini karşılamada paradigmanın bazı sınırlamalarını ortaya çıkarmıştır (Verma et al. 2021). Bulut Bilişim sistemlerini barındıran veri merkezleri genellikle merkezi noktalarda olduklarından merkezde barındırılan sunucuların ağın son kısmında bulunan kenar cihazlar ile iletişimlerinde gecikmeler çokça yaşanmaktadır (Elbamby et al. 2017).

Kenar Bilişim cihazları heterojen bir yapıya sahip olup yaygın Bulut Bilişim servisleri tarafından desteklenmektedirler. Kenar Bilişim ve Bulut Bilişim sistemleri arasında yapılan haberleşmedeki cevap sürelerinin iyileştirilmesi ve kullanılan bant genişliğinin azaltılması için ağın en dış çemberinde yani uçta bulunan kenar cihazlara odaklanılmıştır. Bulut Bilişimin sahip olduğu yüksek kapasite ile uçta daha küçük ve yerleştirilmiş uygulamaları çalıştırma becerisini birleştiren Kenar Bilişim, kaynakları bir araya getiren bir hesaplama altyapısının birden çok katmanlı aracılığıyla küçük ve büyük uygulamaların heterojen gereksinimlerini

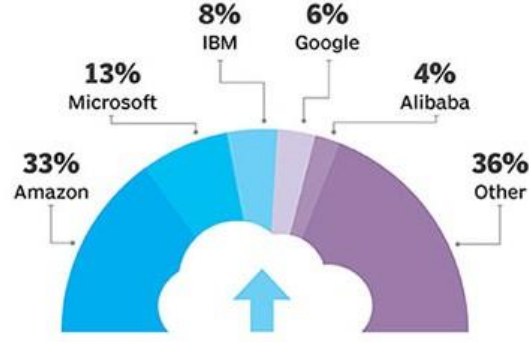
destekleyebilen bir paradigma olarak ortaya çıkmıştır. (Ahmed and Rehmani 2017; Khan et al. 2019).

Bulut Bilişim sistemlerinde Altyapının Servis Olarak Sunulması (IaaS), Platformun Servis Olarak Sunulması (PaaS) ve Yazılımın Servis Olarak Sunulması (SaaS) olmak üzere üç adet hizmet modeli bulunmaktadır. Altyapı servisinde kullanıcıya veri merkezi bileşenleri; sunucu, depolama ünitesi, güvenlik cihazı vb. donanımsal olarak teslim edilir, kullanıcının bu alt yapıyı kendisinin idare etmesi beklenir. Platform hizmetinde ise uygulamalar, veri tabanı, yazılım gelişme araçları vb. hazır platformlar sunulmaktadır. Bu hizmet türünde alt yapı, iletişim ve güvenlik yönetimi veri merkezine aittir. Yazılımın servis olarak sunulduğu platformda ise kullanıcı sadece eriştiği yazılımın kullanımı ile sınırlandırılmıştır. Ofis 365, Google Dokümanlar bu platform için iyi birer örnek teşkil etmektedir. Şekil 3'te bu hizmetler görsel olarak sunulmuştur. (Mell et al. 2011; Genç 2019).



Şekil 3. Bulut Bilişim modelleri (Genç 2019).

Bulut sağlayıcıları, genel, özel, karma ve topluluk bulutları olarak dağıtım modellerine ayrılabilir. Kullanıcıya belli kapasiteye kadar ücretsiz depolama alanı ve uygulama kullanımı sunan yapı genel bulut sınıfındadır. Resmi kurum ya da şirket bünyesinde belli bir kitleye özel hitap eden yapılar ise özel bulut sınıfındadır. Talebe göre genel ve özel bulutun bir arada kullanıldığı yapı ise hibrit bulut sınıfına girmektedir. Bulut sağlayıcıları arasında ilk 3 sırayı Şekil 4'te görüleceği üzere sırasıyla, %33 ile Amazon, %13 ile Microsoft ve %8 ile IBM almaktadır (Spencer 2018).



Şekil 4. Bulut hizmeti sağlayıcıları grafik gösterimi (Spencer 2018).

Nesnelerin İnterneti mimari yapılanmasında Bulut Bilişim ve Nesnelerin İnterneti entegrasyonu güzel bir birliktelik oluşturmuş olsa da gelinen noktada bir takım çözülmesi gereken sorunları da öne çıkarmaktadır.

Kenar Bilişim

İnternet altyapısı kabaca üç katmandan oluşmaktadır. Bunlar; bulut katmanı, istemci katmanı ve ikisinin arasındaki iletişim katmanıdır. Bulut ile istemci katmanları fiziksel olarak dağınık bir şekilde uygulama geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Uygulamaların fiziksel dünya ile sürekli iletişim halinde olması gerekliliği, katmanlı mimariden kaynaklanan haberleşme kısıtları ve verilerin dinamik yapısı sebebiyle dağınık yapıda uygulama geliştirmek güçleşmektedir. Bilişim alt yapılarının coğrafi dağınıklığı ve istemci katmanı cihazlarının farklılığı bu alanda uygulama geliştirmenin önündeki süreci zorlaştıran diğer unsurlar olarak gözden kaçırılmamalıdır.



Şekil 5. Kenar Bilişim örnek dağılımı (Eyüboğlu 2020).

Büyük ölçekli bilişim mimarilerin paralelinde coğrafi yaygınlığında genişlemesi bütünü etkilemektedir. Fiziksel dünyadaki nesneleri bağlı hale getiren kenar mimariler heterojen ve

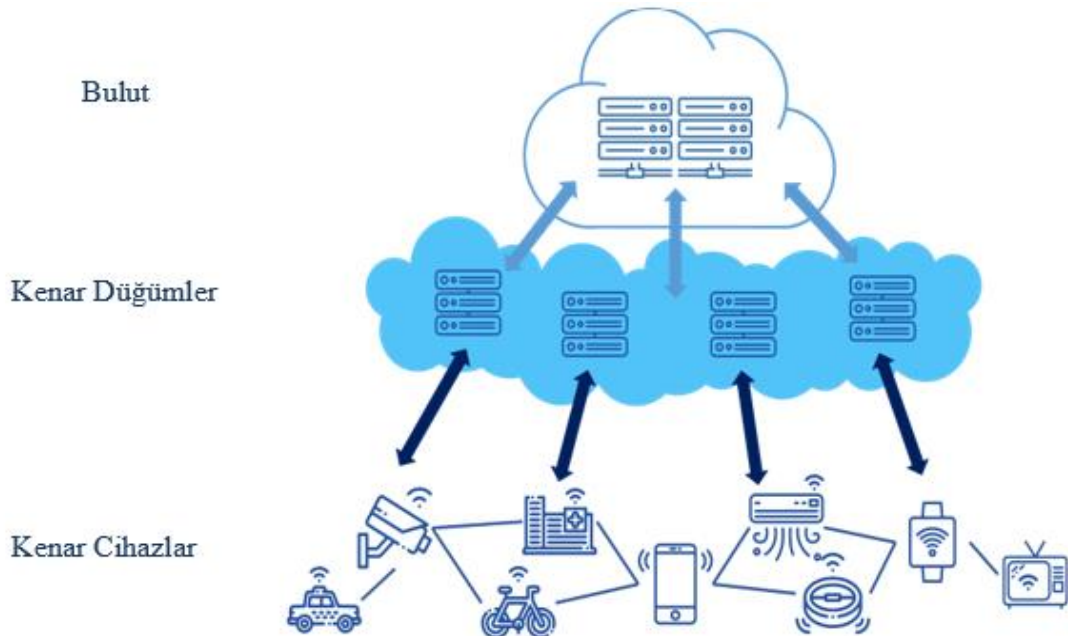
dinamik bir yapıya sahiptirler. Uygulamalardaki yük ve konum değişimlerine karşın hızlı tepki veren mekanizmalara sahip olan Bulut Bilişim en kenardaki düğümlerin sayısı arttıkça kararlılığını yitirmektedir.

Karşılaşılan bu güçlükler alternatif bir çözüm sunması amacıyla yeni bir bilişim yöntemi olarak Kenar Bilişim önerilmiştir. Fiziksel dünyayla direk temas eden uç sistemlerin Bulut Bilişim sistemleri ile kullanımı hedeflenmiştir. Şekil 5'te fiziksel dünya, Kenar ve Bulut Bilişim kaynakları ile verilmiştir.

Kenar Bilişim Tanımı

Nesnelerin interneti kapsamında fiziksel nesnelerin ağ üzerinden haberleşmesi sağlanmaktadır. Böylece çeşitli ortamlardan bilgi toplamak ve bu bilgileri depolamak, işlenmek üzere Bulut Bilişim sistemleri ile paylaşmak mümkün olmaktadır. İzlenilen bu metot beraberinde bazı problemler getirmiştir. Verinin üretildiği kaynaktan işlenerek üretilen sonuçların tekrar cevap olarak yine kaynağa geri döndürülmesi, ağın uç noktasında yapılan işlemlerin gerektiği kadarının Bulut Bilişim Sistemlerine iletilmesi, kararların merkezi değil yerel ve yerinde verilmesi bu hedefler doğrultusunda yeni mimari, protokol ve uygulamaların geliştirilmesi Kenar Bilişim tanımı içerisinde yer almaktadır. Bu sayede daha az veri iletiminin yapılarak daha az bant genişliği tüketilmesi mümkün olmakta ve uçta bulunan sistemlerin veri iletimi için harcadıkları kısıtlı güç kaynaklarından da tasarruf edilmektedir.

Kenar Bilişim düşük gecikmeli, verimli bant genişliği ve esnek hizmetler sunarak verimliliği artırmayı hedefleyen yeni bir bilişim yöntemidir.



Şekil 6. Bulut ve Kenar Bilişim ilişkisi (Anonymous 2020).

Şekil 6’da görüldüğü üzere Kenar Bilişim, fiziksel dünyayla bağlı istemcilerle Bulut arasındaki hesaplama işlemi yapan kenar düğümlere sahiptir.

Bulut Bilişim mimarisi, ortak bir havuza sahip olup, uygun koşullarda ve isteğe bağlı olarak her zaman, her yerden erişime imkân veren bir modeldir. Çoklu hizmet desteği veren Bulut Bilişim mimarileri veri merkezleri içerisinde büyük sunucu, depolama üniteleri ve aktif cihaz yapılanması barındırmaktadır. Verilen hizmet türüne göre büyük avantajları bulunan Bulut Bilişimin yoğun veri çıkışına sahip kenar fiziksel sistemlere işlenmiş cevap döndürmedeki ağ tabanlı gecikmeleri, çoklu iş kabul yapısından dolayı işlem gecikmeleri, uzak ağ yapılanmasından dolayı kesintiler Kenar Bilişim, Sis Bilişim, mikro veri merkezleri gibi yeni çözümlerin ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Kenar Bilişim, fiziksel sisteme daha yakın olan hesaplama, ağ ve depolama kaynaklarını kullanarak paradigmayı merkezileşmişten merkezileşmemiş hale getiren bir çözümdür (Chen et al. 2018; Candanedo et al. 2019).

Kenar Bilişim Tarihçesi

Kenar Bilişim’in başlangıcı 1990’lara uzanmaktadır. 1990 yılında Akamai’nin içerik dağıtım ağını oluşturmasıyla başlamıştır. İçerikler (görüntüler, videolar ve düşünceler) teslim edilirken coğrafi olarak daha yakın konumda bulunan son kullanıcıya tanıtmak olarak ortaya çıkmıştır (Mohan et al. 2016; Aktaş 2020).

“Hareketlilik için çevreyle uyumlu uygulama uyarlaması” çalışmalarında Noble ve arkadaşları (Noble et al. 1997) belirli görevleri mobil cihazlardan bulut sistemlere nasıl aktarılabilceğini göstermişlerdir. Kaynaklar üzerindeki yükün hafifletilmesi amaçlanmış olup Google, Apple gibi güçlü sağlayıcılarda bu yöntemi konuşma hizmetlerinde kullanmaktadırlar. 2001 yılında yaygın bilgi işlem ile ilgili olarak Satyanarayanan bu yaklaşımı “Yaygın hesaplama: vizyon ve zorluklar” (Satyanarayanan 2001) başlıklı makalede genelleştirmiştir.

2000 yılların başında yer paylaşımli ağlar ve merkezi olmayan fakat ölçeklendirilmiş uygulamalar önerilmiştir. Dinamik yapıya sahip bu ağlar özellikle yük dengeleme ve otonom hata giderilmesinde fayda sağlamıştır. Çeşitli algoritmalar ile internet ortamında en kısa yoldan hedefe ulaşmak üzere tasarlanmışlardır. Bu özellikleri sayesinde ağda oluşabilecek trafik yoğunluğu ve paket gecikmelerinin de önüne geçmek mümkün olabilmektedir.

2006 yılında ise Amazon şirketi “Uyumlu Bilgi İşlem Bulut” unu tanıtmıştır. Çalışma; bilgi işleme, görüntüleme ve depolama kapasitesi açısından yeni açılımların oluşmasını sağlamıştır. Ancak Bulut Bilişim tüm durumlara çözüm olmadığı, anlık karar almayı gerektiren durumlar da bilginin yerel olarak işlenmesinin artan önemi vurgulanmıştır (Aktaş 2020).

Satyanarayanan ve arkadaşları 2009 yılındaki “Mobil bilgi işlemde sanal makine tabanlı bulut uygulamalarının durumu” makalede bulutçuk (cloudlet) teriminden (Satyanarayanan et al. 2009) bahsetmiştir. Yapılan çalışmada iki katmanlı bir mimari önerilmektedir. Birisi yüksek gecikmeli bulut katmanı diğeri ise daha düşük gecikmeli bulutçuk katmanıdır. İkincisi yani daha düşük gecikmeli olan katman merkezi olmayan ve dağınık internet alt yapısı bileşenleridir.

Cisco tarafından 2012 yılında Sis Bilişim terimi literatüre kazandırılmıştır. Burada, Nesnelerin İnternetinin ölçeklenebilirliğini teşvik etmek amaçlanmıştır. Gerçek zamanlı düşük gecikmeli uygulamalar için çok sayıda Nesnelerin İnterneti cihazının ve büyük veri hacimlerinin ele alınması düşünülmüştür (Aktaş 2020).

Nesnelerin İnterneti ilişkili çözümler artık kendine yoğun kullanım alanı bulmaktadır. Bir sistem haline gelen Nesnelerin İnterneti, Bulut Bilişim ve Kenar Bilişim kombinasyonu sunulan çözümlerde artık birlikte yer bulmaktadır. Kurum ve kuruluşlar belirli uygulamaları ve işlemleri merkezi bir noktadan yürütmek için daha çok Bulut Bilişimi tercih etmektedirler. Diğer yandan Kenar Bilişim ise düşük iletişim gecikmesi, azaltılmış ağ trafiği, yerinde veri işleme ve anonim veri paylaşımı (sıcaklık, nem, motor dönüş hızı, titreşim vb.) için tercih edilmektedir.

Kenar Bilişim Hiyerarşisi

Çekirdek ağdaki merkezi bulut servisleri Kenar Bilişim sunucularını iç kenar, orta kenar ve dış kenar olmak üzere üç katmanda değerlendirmektedirler.

İç Kenar

İç kenar bölgesel işletmelerin WAN’ı, ISP’leri ve yerleşke ağı (MAN) olarak tanımlanmaktadır. Başlangıçta iç kenar hizmet sağlayıcıları yalnızca yerel ağları küresel internete bağlamak için temel alt yapıyı sunmaktaydı. Web hizmetlerinin iyileştirilmesindeki son ihtiyaçlar WAN’ın ağ veri merkezlerindeki coğrafi olarak dağıtılmış önbellekleme ve süreç işleme mekanizmalarını harekete geçirdi. Bulut Bilişim sistemleri, yüksek işlemci gücüne sahip sunucular, profesyonel depolama üniteleri, yüksek anahtarlama kapasiteli aktif cihazlar ve güvenlik cihazları içermektedir. İşlem gücünün yüksek olması sayesinde hesaplama kapasitesi ve analiz yapma yetenekleri de oldukça yüksektir. Farklı teknik özelliklere sahip depolama üniteleri kullanabilen Bulut Bilişim yapıları büyük veriyi de kolayca depolayabilmektedir. Kenar Bilişim, düşük hesaplama gücü ve yine düşük depolama kapasitesi ile Bulut Bilişimden ayrılmaktadır (Rajkumar and Satish 2019a).

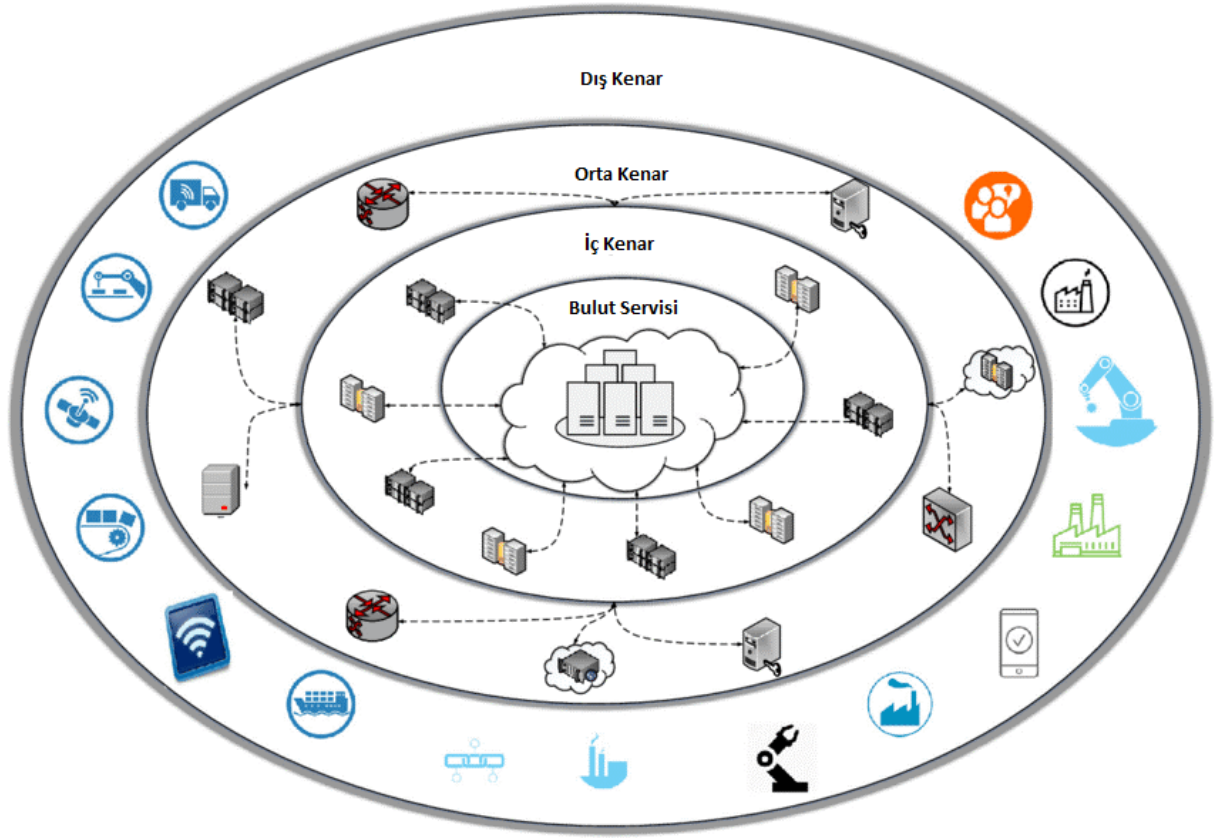
Orta Kenar

Orta Kenar, Kenar Bilişimin en bilinen kavramıdır. İki tür ağdan oluşur. Bunlar Yerel Alan Ağı (LAN) ve Hücresel Ağlardır. Kablosuz ağlar, Ethernet ve kampüs alan ağları LAN ölçeğinde değerlendirilebilir. Makrosel, mikro hücre, pikosel ağları ise Hücresel Ağlar kapsamındadır. Kenar katmanı üzerinde ve Bulut katmanı altında ise Sis katmanı bulunur. Bu katmanda genellikle yönlendirici (router) gibi yönlendirme işlevi yapan ağ erişimine ait cihazlar, ara katman sunucuları gibi bileşenler bulunur. Konum olarak kenardan nispeten uzak özellikle kamu binaları gibi belirli ortak alanlarda barındırılırlar. İhtiyaç halinde mobil bir araç içerisine yerleştirilerek belli noktalarda faaliyet göstermeleri mümkündür. Hedeflenen kitle son kullanıcı ve kenar cihazlardır. Verileri bulut sistemlere göndermeden önce depolamak ve işlemek için çeşitli donanımlara sahiptirler. Gecikmeye karşı esnekliği olmayan uygulamalar için tercih edilmektedir. Bulut Bilişim ile bağlantısını TCP/IP protokolü üzerinden gerçekleştirilmektedir (Rajkumar and Satish 2019a).

Dış Kenar

Fiziksel sistemlere en yakın katman olarak değerlendirilmektedir. Son kullanıcı açısından mobil telefonlar örnek verilebilir. Fiziksel sistemler açısından algılayıcılar ve onların bağlı olduğu gömülü devreler örnek gösterilebilir. Daha çok fiziksel sistemlerdeki algılama neticesinde elde edilen verilerin Sis ya da Bulut Bilişim sistemlerine gönderilmesinden sorumlu olan dış kenar katmanı Kenar Bilişim sistemlerinin ana unsurudur. (Rajkumar and Satish 2019a).

Kenar Bilişim sunucularının dağıtım aşamaları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Kenar Bilişim Hiyerarşisi (Rehman et al. 2019).

Kenar Bilişim Zorlukları ve Faydaları

Kenar Bilişim Zorlukları

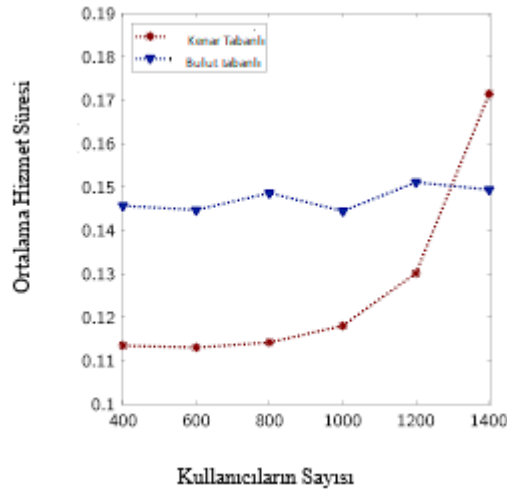
Kenar Bilişim gelişmekte olan bir alan olmasından dolayı özellikle iletişim, donanım ve yazılım açısından aşılması gereken birtakım zorluklarla karşı karşıyadır. Bu kapsamda yapılan araştırmalar alt başlıklar halinde aşağıdaki biçimde özetlenebilir (Rajkumar and Satish 2019a).

Bant Genişliği

Fiziksel nesneleri bağlı hale getiren Kenar Bilişim sistemleri tarafından üretilen verilerin gittikçe artması, bant genişliği kapasitesini zorlamaktadır. Verilerin istemci ve sunuculara yakın mesafede bulunmaları bant genişliği açısından önemlidir. Bant genişliğinin artışı maliyet artışını beraberinde getirmektedir. Bant genişliği tercihi sabit veya dinamik olmak üzere iki biçimde yapılabilir. Sabit bant genişliği tercih edilir ve bulut merkezli bir sistem modeli kullanılır ise bant genişliğinin daraldığı durumlarda gecikmeler veya paket kayıpları olasıdır. Sabit bant genişliği tercih edilir ve Kenar Bilişim modeli kullanılır ise karşılaşılabilecek gecikme ve paket kayıplarının azalan trafik nedeniyle daha az olması beklenmektedir.

Gecikme Süresi

Fiziksel niceliğin sensörler vasıtasıyla algılanarak veri haline dönüştürülüp Kenar sisteme aktarılması ve tekrar işlenerek geri döndürülmesi esnasındaki iletim gecikmeleri, ağ üzerindeki iletim gecikmelerine göre çok kısadır. Verinin kenar sistemlerde işlenmesi için gerekli süre ise sistemlerin sahip olduğu kaynaklara bağlıdır. Kenar Bilişim sistemlerinin ağ üzerindeki iletişim gecikmelerine karşın üstünlükleri olmasına rağmen veri işleme kaynaklarının zayıf olması nedeniyle performansları Bulut Bilişim sistemlerine göre düşük olmaktadır. Yoğun hesaplama gereksinimi olan uygulamaların çalıştırılması ya da veri boyutunun büyümesi durumlarında gecikmeler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8. Hizmet süresi karşılaştırma (Vincenzo et al. 2018)

Şekil 8’de Kenar tabanlı ve Bulut tabanlı olmak üzere iki sistemin ortalama hizmet süreleri kullanıcı sayıları dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kenar tabanlı sistemde kullanıcı sayısı artarken ortalama hizmet süresinde de üstel bir artış olduğu görülmektedir.

Kaynak Kısıtı

Büyük verinin yönetimi yoğun iş yükü gerektirmektedir. Artan verinin işlenmesi uygulamaların büyük miktarda verilerle çalışması Kenar Bilişim sistemine fazladan iş yükü oluşturmaktadır. Kenar Bilişim sistemi fazladan iş yükünü mevcut kaynaklarla sağlanmakta zorluk yaşamaktadır (Bittencourt et al. 2018). Kenar Bilişim sistemleri, kaynak kısıtından dolayı karmaşık hesaplama gerektiren işlemlerde zayıf kalmaktadır.

Kenar cihazlar kaynak kısıtını aşmak için Bulut Bilişim sistemlerinden faydalanmak istediklerinde ağ modüllerini yoğun kullanmaları gerekmektedir. Bu durum özellikle pille çalışan cihazlar için çok fazla enerji tüketimi manasına gelmektedir. Şekil 8’de Kenar tabanlı

sistemdeki kullanıcı sayısı artışı ortalama hizmet süresine olumsuz tesir etmiştir çünkü donanımsal kaynakların kısıtlı olmasından dolayı sisteme gelen yeni işlerin yerine getirilmesi gecikmektedir. Yang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kenarda kurulan sistemin yaşadığı kaynak problemine değinilmiştir (Yang et al. 2019). Artan verinin hesaplanması Kenar mimaride kaynak isteme sorununu doğurmaktadır (Wang et al. 2019).

Programlanabilirlik

Bulut Bilişim platformu için uygulama geliştirilmesi ve dağıtılması büyük ölçüde standartlaştırılmıştır. Kenar Bilişim platformu için aynı durum söz konusu değildir çünkü yapı heterojen formdadır (Khan et al. 2019). Bu durumda programların çalıştırılması her platformda mümkün değildir. Düğümlerin çalışma zamanı birbirinden farklı olduğundan dolayı kenar hesaplama konusunda konuşlandırılacak bir uygulama yazmakta büyük zorluklarla karşılaşmaktadır.

Kenar hesaplamanın programlanabilirliği için bir dizi hesaplama paradigması oluşturulması önerilir. Hesaplama, uygulamanın genel işlevlerini içerebilir. Hesaplamanın nerede ve ne zaman yapılacağı tanımlandığı sürece hesaplama herhangi bir zaman yapılabilir.

Hesaplama işlemleri merkezi olmadığından Kenar Bilişim sistemi üzerinde yapılması gerekir. Kenardaki bilgi işlem akışı, kullanıcının hangi hesaplamayı yapması gerektiği ve hesaplamanın sonunda verilerin nasıl dağıtılması gerektiği konusunda yardımcı olmaktadır. Kenar Bilişim sistemlerinin aşırı yüklenmesi durumlarında enerji gereksinimi ve gecikme sürelerinde artış meydana gelmektedir (Shi et al. 2016).

Kenar Düğümleri Keşfetmek ve İsimlendirmek

Kenar Bilişimde mevcut ortamdaki kaynakların ve düğümlerin araştırılması oldukça önemlidir. Sistemin verimli ve sürdürülebilir olması için özellikle iletişim ve donanımsal kaynaklar iyi planlanmalıdır. Merkezi olmayan bir bulut kurulumunda kullanılabilecek uygun düğümleri bulmak için keşif mekanizmaları oluşturulmalıdır. Cihaz sayısının fazla ve heterojen olması süreci güçleştirmektedir. Keşif mekanizmaları kullanıcı deneyimini dikkate alarak ve gecikmeleri arttırmadan bilgi akışındaki düğümlerin sorunsuz bir şekilde entegrasyonu yapılmalıdır (Ahmed and Rehmani 2017).

Yapılan keşif sonucu ortaya çıkan düğümlerin isimlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Cihazların sayısının çok fazla olmasından dolayı isimlendirmenin önemini arttırmaktadır. Kenar Bilişim sistemlerinde isimlendirme şemasının çıkarılması programlama, adresleme, nesnelerin tanımlanması ve veri iletişimi için oldukça önemlidir. Nesnelerin

hareketliliği, ağ topolojisi, veri güvenliği ve gizliliği için Kenar Bilişim sistemleri isimlendirme şeması çıkarılması konusu değerlendirilmelidir (Rajkumar and Satish 2019b).

Alan Adı Servisleri gibi adlandırma mekanizmaları, mevcut bilgisayar ağlarının isimlendirme ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Kenar Bilişim sistemleri için daha esnek yapılara ihtiyaç duyulmaktadır (Shi et al. 2016).

Veri soyutlama

Veri soyutlama Kenar Bilişim için zor bir hal almaktadır. Kenar hesaplamada Nesnelerin İnterneti ile ağda çok miktarda veri üretimi gerçekleşmektedir ve üretilen her verinin işlenmesi dikkate alındığında çok fazla veri işlemleri ile karşılaşmaktadır. Akıllı taşıt sistemi sensörlerinden çok fazla veri elde edilirken karar mekanizması için sadece bir kısmının kullanılması bu duruma bir örnek olarak verilebilir. Gerekli olmayan verinin işleme alınması kaynak kullanım verimliliğini azaltmaktadır.

Kenar Bilişim sistemlerinde büyük miktarda veriyi depolamak sahip olduğu bellek miktarı düşünüldüğünde oldukça güçtür. Veri soyutlama yapılmak istendiğinde ise hangi verinin soyutlanacağına iyi karar verilmelidir. Çünkü uygulamalar veya hizmetler için yeterli bilgi sisteme sunulmalıdır. Hassas sistemler de bu iş daha da zor olmaktadır. Sistemin doğru veriyi aldığından emin olunup güvenilirliği test edildikten sonra veri soyutlaması yapılmalıdır. Doğru bilgi ile doğru işlem yapılmalıdır (Shi et al. 2016).

Hizmet Yönetimi

Bilgi akışının yönetimi verimli çalışma adına oldukça önemlidir. Hizmet yönetimi güvenilir bir sistem gerçekleştirmek için gereklidir. Uçtaki cihazlar kullanılarak oluşturulan ağın üzerindeki hizmetler farklı önceliklere sahiptir. Sağlık alanında hastanın kalp atışını sisteme taşıyan kenar cihazların hizmet sunumu birincil önceliğe sahiptir aynı şekilde akıllı ev sistemlerinde arıza durumlarını sisteme taşıyan kenar cihazların hizmet sunumu daha önceliklidir. Hizmetlerin sahip olduğu veriler ile öncelik sıralaması yapılmalıdır.

Hizmet yönetimi alanında Kenar Bilişimde bir diğer zorluk, esnekleştirme imkânı sağlamaktır. Ağa bağlı nesneler gittikçe artmaya devam etmekte olup artan nesnelerin kenar hesaplamaya dahil edilebilirliği önemlidir. Kenar Bilişim bu genişletilebilirliği desteklemelidir.

Bir diğer konu ağın ucunda herhangi bir aksama meydana geldiğinde diğer hizmetler bu durumdan nasıl etkilenir bunun hesabı yapılmalıdır. Hizmet esnasında bir uygulama başarısız olursa bu sorun diğer uygulamaları etkilemeden sistem yönetimi gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Kenar hesaplamada hizmetlerin biri başarısız olduğunda onun yerine

geçebilecek yeni bir uygulama tayin edilmelidir. Bu zorluğa bir dağıtım mekanizmasıyla çözüm getirilebilir. Hizmet yönetimi katmanı iyi organize edilmiş olmalıdır. Uygulamalarda çakışma meydana gelmesi durumunda kullanıcılar uyarılmalı ve olası sorunlar engellenmelidir (Shi et al. 2016; Rajkumar and Satish 2019b).

Gizlilik ve Güvenlik

Bilişim sistemlerinin tümünde olduğu gibi Kenar Bilişimde de gizlilik ve güvenlik önemli unsurlardır. Kenar cihazlardan alınan veriler kişisel bilgiler içerebileceğinden korunması gerekmektedir. Nesnelerin İnterneti ile donatılan bir ev düşünüldüğünde, evin sayaç bilgileri ile evin kullanım durumu hakkında kolayca bilgi edinilmektedir ya da evdeki görüntüler kötü amaçlı olarak kullanılabilir. Verilerin ağ üzerinden taşınmadan uçtaki cihazlar üzerinde saklanması ve kenarda işlem görmesi güvenliği artıracaktır.

Kenar cihazlarda depolanan ve işlenen verilerin Bulut Bilişim sistemlerine aktarımı esnasında servis sağlayıcı tarafından kullanılıp kullanılmayacağı kontrol edilebilmelidir. Sağlık hizmetleri, akıllı araçlar, akıllı evler gibi uygulamaların güvenliği sağlanamaz ise verilerin üçüncü şahısların eline geçmesi kaçınılmaz olmaktadır (Shi et al. 2016; Ahmed and Rahmani 2017).

Kenar Bilişim Faydaları

Kenar Bilişim beş ana fayda sunmaktadır. Bunlar; Güvenlik (Security), Biliş (Cognition), Çeviklik (Agility), Gecikme (Latency), Verimlilik (Efficiency)'tir. Bu faydalar, ilgili bileşenlerin baş harfleri bir araya getirilmek suretiyle SCALE olarak adlandırılır. (Rajkumar and Satish 2019a)

Güvenlik

Açık sahadan veriyi buluta göndermek hem veriyi hem de kenardaki cihazları tehlikeli duruma düşürmektedir. Üretilen verilerin güvenli bir şekilde bulut ortamına aktarıldığından emin olmak için çeşitli güvenlik mekanizmaları oluşturmak gerekmektedir. Verilerin ağın ucunda işlenmesi hem daha güvenli hem de daha hızlı yanıt alınmasında yardımcı olmaktadır. Dış ortamlarda bulunan kablosuz cihazlar, güvenlikle ilgili sorunları çözmek için güvenlik güncellemesine ihtiyaç duymaktadırlar. Kararsız sinyal gücü, kısıtlı bant genişliği ve kesintiler gibi zorluklarla karşılaşmaktadır. Bunun sonucunda cihazların siber saldırılara maruz kalma ihtimali artmaktadır.

Biliş

Kenar Bilişim sistemleri karar verme yetisine sahiptir. Sistemin hizmetlerinden faydalanan kullanıcıların hesaplama, depolama ve kontrol gibi işlemlerinin yönetiminde belirli kararları verebilir. Sürekli olarak çalışan ve kullanıcıların gereksinimlerine göre tepki veren aktif bir çalışma prensibine sahiptir.

Çeviklik

Kenar Bilişim sistemleri merkezi bir yapıdan kontrol edilmek yerine verilerin nereye ve nasıl dağıtılacağına yerinde karar vererek çevik hareket eden bir yapıya sahiptir. Verilerin kaç kopya yapılması gerektiği bu kopyaların hangi düğümlere ulaştırılması gerektiğini tanımlar ve uygular.

Gecikme

Kenar Bilişim sistemleri ile veri merkezleri arasındaki uzak mesafeler ve kararsız ağ bağlantıları gecikme sürelerini etkilemektedir. Fiziksel nesnelere bağlı Kenar cihazlar tarafından üretilen verilerin işleme gecikmeleri işlendikleri platforma göre değişmektedir. Şekil 9'da gösterildiği gibi bulut veri merkezinin istemciden uzak olmasından dolayı meydana gelen gecikme fiziksel nesnelere bağlı kenar cihazların ürettiği verilerin sağlıklı değerlendirilmemesine sebep olmaktadır.

Gerçekleştireceği sonraki aktivite için fiziksel sisteme mümkün olduğu kadar erken yanıt verilmelidir. Akıllı sürüş yapılan araçlarda tüm trafiğin kontrolü yapıldıktan sonra harekete geçilmesi gerekmektedir. Hareket esnasında çevreden gelen anlık bir verinin işleme ve karar verme süresinin uzaması durumunda sonuçlar hayati risklere yol açmaktadır.



Şekil 9. İstemci ve sunucu arasında mesafe karşılaştırma.

Fiziksel ortamda bulunan cihazların oluşturduğu veriler işlenmek üzere buluta gönderilmesi sürecinde meydana gelen dış etkenlerin olumsuz etkileri ile işlem yapma süreleri artmaktadır. Bir cihaz günde bir gigabaytlık (GB) veri üretiyorsa bu verinin buluta aktarılması,

depolanması, işlenmesi ve işleme cevap verilmesi birkaç saat alabilir. Bu süre zarfında yapılan işlemin sonucundan yararlanılamayabilir. İşlem sürelerinin hızlı olması tercih edilmektedir.

Kenar Bilişim modeli bu işlem süresini hızlandırmaktadır ve oluşabilecek gecikme sürelerini en aza indirmektedir. Kenar Bilişim modeli Bulut Bilişim modeline nazaran uygulamaların hızlı yanıt vermesini sağlamaktadır (Taleb et al. 2017).

Verimlilik

Kenar Bilişim uygulamaların performans iyileştirmesini yaparak ve gereksiz maliyetlerini azaltarak işlem verimliliğini arttırmaktadır. Büyük boyutlu verilerin kenardan bulutta iletimi, operasyonu kısıtlayacak şekilde maliyetli olabilir. Günlük 1 terabayt üzeri veri paylaşımı yapan bir uygulamanın 64 Kbps ile 2 Mbps arasında değişen bir veri aktarımı gerçekleştirdiğinde, verinin gönderimi yaklaşık 12 gün sürmektedir. Bu veri aktarımının maliyeti günden güne artacaktır ancak Kenar Bilişim bu artışı büyük ölçüde azaltmaktadır.

Kenar Bilişim Temel Mekanizmalar

Kenar Bilişimin sağladığı faydalar beş temel mekanizmayla açıklanmaktadır. Bu mekanizmalar, Depolama (Storage), Modelleme (Compute), Hızlandırma (Acceleration), Kontrol (Control) ve Ağ Oluşturma (Networking)'dır. Bu mekanizmalar SCANC olarak adlandırılır. (Rajkumar and Satish 2019a)

Depolama

Kenar Bilişim depolama mekanizması, bilgi işlem veya veri dağıtım performansının iyileştirilmesi için Kenar Bilişim sistemlerinde verilerin geçici olarak depolanması ve önbellekleme yapılmasıdır. İçerik hizmeti sağlayıcıları, kullanım kalitesini iyileştirmek için kullanıcılarına en yakın noktadaki Kenar Bilişim sistemlerinde çoklu ortam içeriğini önbelleğe alabilmektedir. Bu sayede verilen hizmette iyileştirme yapılmış olmaktadır. Ayrıca bağlantılı araç senaryolarında, birbirlerine bağlı araçlar aralarında bilgi alışverişi yapmak için Kenar Bilişim sistemlerini kullanabilmektedirler.

Modelleme

Kenar Bilişim sistemleri temel olarak iki hizmet modelini kullanmaktadır. Bu modeller, Platformun Hizmet olarak Sunulması ve Yazılımın Hizmet olarak Sunulması biçimindedir.

Kenar Bilişim istemcilerinin ihtiyaç duydukları özel yazılımların sanal makineler kullanılarak Kenar Bilişim sistemlerine dağıtılması işlemi Platformun Hizmet olarak Sunulması kapsamına girmektedir.

Yazılımın Hizmet olarak Sunulması iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar; isteğe bağlı veri işleme ve hizmet olarak bağlamdır. İsteğe bağlı veri işleme önceden tanımlanmış metotlara sahiptir. Hizmet olarak bağlam ise istemciler için anlamlı verileri toplayıp işleyebilen bir yöntemdir (Rajkumar and Satish 2019a).

Hızlandırma

Kenar Bilişim tarafından desteklenen iki hızlandırma türü mevcut olup bunlar;

- Ağ hızlandırma,
- Hesaplama hızlandırmadır.

Kenar Bilişim sistemleri birden çok yönlendirme tablosunun paralel olarak çalıştırmasını sağlayan ağ sanallaştırma teknolojisine dayalı ağ hızlandırma mekanizmasını destekler.

Kontrol

Kenar Bilişimin 4 temel kontrol mekanizması bulunmaktadır.

- Dağıtım Kontrolü, istemcilerin yazılım programı dağıtımını dinamik olarak gerçekleştirmesini sağlar. Kenar Bilişim düğümleri hangi programın nerede ve ne zaman yürütmesi gerektiğinin denetlemesini gerçekleştirmektedir. Ayrıca Kenar Bilişim sağlayıcıları yazılımların düğümler arası taşınmasına izin verir.
- Çalıştırma Kontrolü, kenar cihazlar ile bulut arasındaki bağlantıyı temsil eder.
- Bağlantı Kontrolü, farklı Kenar Bilişim sağlayıcıları arasındaki iletişimin kontrol edilmesidir. Bu sağlayıcılar aralarında ortak bir protokole sahip olmasalar bile haberleşebilmektedirler.
- Güvenlik Kontrolü, Kenar Bilişim sistemlerinin kimlik doğrulaması, yetkilendirilmesi, tanımlanması gibi temel güvenlik gereksinimlerine bakılmaktadır.

Ağ oluşturma

Kenar Bilişim ağı, dikey ve yatay bağlantılar oluşturmaktadır. Dikey ağ, nesneleri ve bulutu IP ağlarıyla birbirine bağlar. TCP/ UDP soketler, http dikey ağlara örnek verilebilir. Yatay ağ oluşturulurken enerji verimliliği dikkate alınarak heterojen uygun maliyetli ağ

oluşturma yaklaşımları kullanılmaktadır. Bluetooth, Zigbee gibi iletişim teknolojilerinin akıllı ev sistemlerinde kullanılması yatay ağ oluşumuna örnek verilebilir (Rajkumar and Satish 2019a)

Kenar ve Bulut Bilişim İlişkisi

Kenar Bilişim ile Bulut Bilişim paradigmaları günümüzde çok popülerdir. Kenar Bilişim sistemleri, ağın en dış çemberinde verinin üretildiği kaynağa konumlandırılmaktadır. Kenar Bilişim sistemleri veri merkezlerinin aksine ağın uç noktalarında, daha az merkezi bir konumdadır (Chen et al. 2018). Kenar Bilişim geleneksel Bulut Bilişimin aksine gecikmeyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Gecikmeye duyarlı uygulamalarda Kenar Bilişim sistemleri kullanarak daha etkili sonuçlar elde edilmektedir. Yüksek performans gerektiren hesaplama işlemleri için Bulut Bilişim sistemleri daha avantajlıdır. Bulut Bilişim büyük ölçekli veri merkezleri ve yüksek kapasiteli sunucu gibi yüksek kapasiteli bileşenleri kullanmaktadır. Kenar Bilişim, küçük sunucular, yönlendiriciler, ağ geçitleri gibi daha düşük kapasiteli bileşenleri kullanmaktadır. Kenar Bilişim sistemlerinde yapılan işlemlerin internet bağımlılığı Bulut Bilişim sistemlerine göre daha azdır.

Uygulamalarda hangi sistemin kullanılacağına karar vermek gerekmektedir. Kenar ve Bulut Bilişim birbirlerini tamamlar ancak birbirlerinin yerine alamazlar. Sistemlerden farklı şekilde faydalanmakta mümkündür. Kenar ve Bulut Bilişimi birleştirerek ortak bir iş akışı da oluşturulabilmektedir. Bulut Bilişim, her zaman her yerde verilere isteğe bağlı erişim imkânı sağlar. Büyük veri merkezleri, hızlı işlem kapasitesine sahiptir. Google, IBM gibi çeşitli büyük veri merkezleri (bulut sağlayıcıları) mevcuttur. Kenar Bilişim ve Bulut Bilişimin genel özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kenar ve Bulut Bilişim Özellik Karşılaştırılması (Yousefpour et al. 2019)

Özellik	BB (Bulut Bilişim)	KB (Kemar Bilişim)
Genel Kullanım	Ölçeklenebilir veri depolama, sanallaştırılmış uygulamalar, büyük veri kümeleri için dağıtılmış bilgi işlem	Yerel video gözetimi, video ön belleğe alma, trafik kontrolü
Operatörler	Bulut servis sağlayıcıları	Ağ altyapı sağlayıcıları veya yerel işletmeler
Servis tipi	Küresel	Yerel
Donanım	Sanallaştırma kapasiteli cihazlara sahip büyük ölçekli veri merkezleri	Bilgi işlem özelliğine sahip uç cihazlar
Kaynak	Yüksek	Orta
Uzaklık	Uzak	Yakın
Hesaplama	Gecikmeli hesaplama	Düşük gecikmeli hesaplama
Mimari	Merkezi / hiyerarşik	Yerelleştirilmiş/ dağıtılmış
Kullanılabilirlik	Yüksek	Ortalama
Gecikme	Nispeten yüksek	Düşük
Güvenlik	Buluttan nesneye süreklilik içinde sağlanmalıdır	Uç cihazlarda sağlanmalıdır
Sunucu Konumu	Büyük özel binalara kuruldu	Yakın uç cihazlar
Güç tüketimi	Nispeten yüksek	Düşük
İnternet bağlanabilirliği	Servisler süresince internete bağlı olmalıdır	İnternet bağlantısı olmadan veya kesintili olarak bağımsız olarak çalışabilir
Donanım Bağlantısı	WAN	WAN, LAN, WLAN, WiFi, hücresel, ZigBee

MATERYAL VE METOT

Gelişen teknolojik ilerleyiş sürecinde dikkat çeken en önemli nokta veri miktarının üstel bir şekilde artışı olmuştur. Veri miktarındaki bu artış ile verilerin işlenmesi, depolanması, dağıtılması, veri kaynaklarının yönetimi, işlenmiş verinin tekrar sisteme yararlı biçimde geri beslenmesi dikkat edilmesi gereken durumlardır.

Geleneksel yapılanmada, verinin kaynağı olan fiziksel sistemler için merkezi iletişim tercih edilmektedir. Fiziksel sistemin konumlandırıldığı yer önemlidir. Fiziksel sistemin iletişim kuracağı merkezden uzak olması, sinyal iletimini etkileyebilecek engebeli arazide bulunması, bant genişliği düşük iletim medyasına sahip olması hizmet kalitesini olumsuz etkileyecektir.

Bilişim sistemlerinde iletişim kurulacak iki nokta arasındaki mesafe ve iletim medyası gönderilen/alınan paketlerin sürelerindeki gecikme açısından önemlidir. Bulut tabanlı olacak biçimde tasarlanmış ancak bulut merkezinden uzakta konumlandırılmış olan bir sistemin bahsi geçen gecikmelere maruz kalması beklenmektedir. Bu sonuçlar çerçevesinde geliştirilen Kenar Bilişim paradigması yaşanan olumsuzluklara çözüm olarak ortaya atılmıştır. Kenar Bilişim hizmeti ile kenarda bulunan sistemler merkezi haberleşmeyi gerekli durumlarda yaparak hem sistemlerin hem de ağı üzerindeki yükü azaltmıştır.

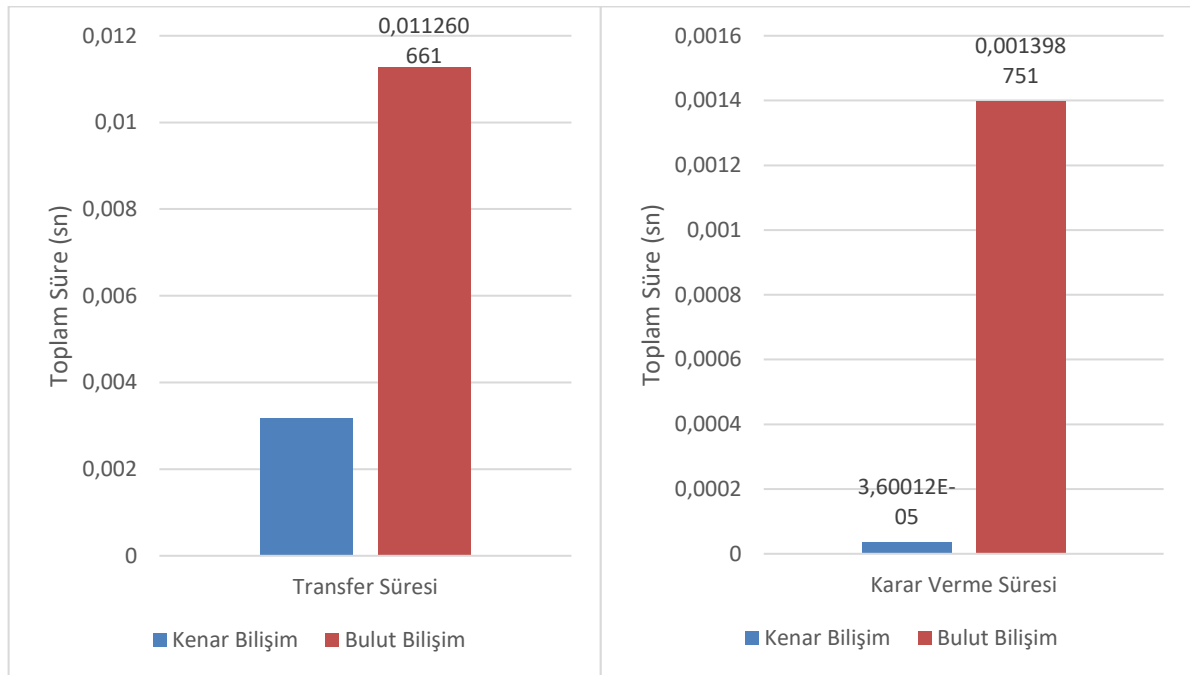
Yapılan bazı çalışmalarda tercih edilen Kenar Bilişim ile ne kadar doğru bir değerlendirme yapıldığı görülmektedir. Li'nin çalışmasında Derin Sinir Ağı (DSA) çıkarımı yapılırken yaşanan ağ gecikmesinden dolayı bir çerçeve önerilmiştir. Bu çerçeve DSA çıkarımı yaparken kenarda konuşlandırılmış bir Raspberry Pi ve masaüstü bilgisayarla gerçekleştirilmiştir. Raspberry Pi ve Masaüstü bilgisayar ile çerçeve prototipi uygulanmış ve yapılan kapsamlı değerlendirmeler neticesinde sunulan çerçevenin düşük gecikme sağladığı görülmüştür (Li et al 2019).

Bir diğer çalışma örneği ise kenar bulut uygulamaları ve ara yazılımlar üzerinde yapılacak araştırmaları destekleyen bir mobil kenar bulut platformu olan MEC-ConPaaS'ın tasarımını ve uygulamasını sunmaktadır. Sistem genel sunuculardan daha ucuz olan ve kurulumu daha kolay olan Raspberry Pi gibi tek kartlı bilgisayarlardan yararlanmaktadır. Bu cihazlar geniş alanlar için yeterince ucuz ve güç açısından verimli olup, aynı zamanda çok çeşitli uç uygulamalarını desteklemek için yeterli hesaplama gücü sağlamaktadır. Bu cihazlar gerçek bulut uygulamalarını desteklemektedirler (Kempen et al. 2017).

Fiziksel sistem tarafından üretilen verinin uzak sistemlerde değerlendirilip geri döndürülmesi başlangıçta yönetilebilir görünüp çözümler bu yönde geliştirilmiş olsa da artan

veri miktarı mevcut yöntemlerin sağlıklı çalışmasını tehdit etmektedir. Sistemin verimli çalışması adına fiziksel sistemlerin yakınında olacak biçimde bir bilişim mimarisi kullanılması önemli hale gelmiştir. Sistemlerin doğru ve hızlı karar vermeleri, kaynakların etkin kullanımı hedeflenen durumlardır.

Şekil 10’da Kenar ve Bulut mimarilerindeki aynı uygulamanın transfer ve karar verme işlemleri için geçen süreler (saniye) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bulut mimarisi transfer ve karar verme süresi Kenar mimarisinden yüksek çıkmıştır. Bulut üzerinden yapılan işlemlerde ağ üzerinden iletim yapılmasından dolayı transfer ve karar verme işlem süreleri artmaktadır. İki mimarinin işlem sürelerindeki farklılık Kenar mimarisi oluşumunun ne denli etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Kenar Bilişim ve Bulut Bilişim arasında işlem süreleri karşılaştırılması.

Mevcut Teknolojiler

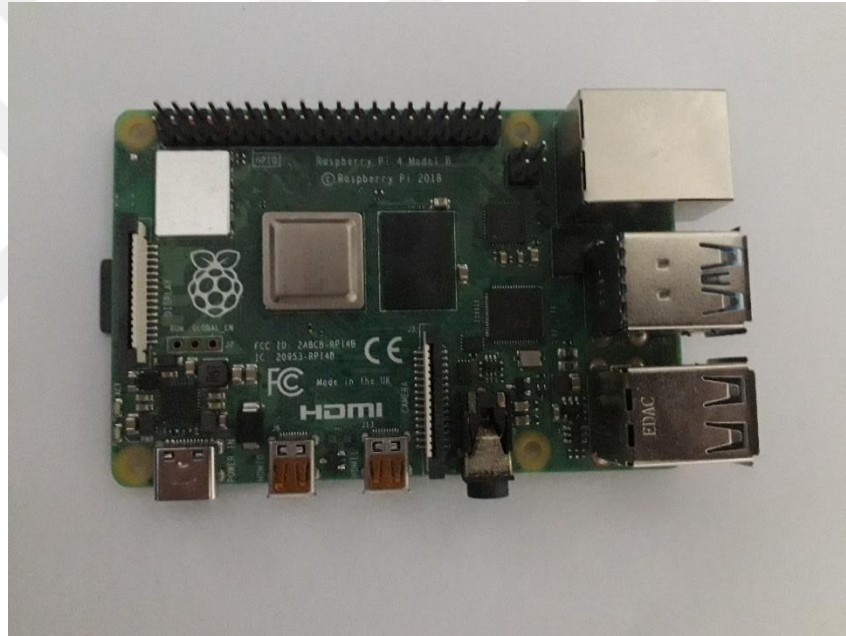
Kenar Mimari

Kenarda tek kartlı gömülü sistem kullanılmaktadır. Gömülü sistemler üzerinde farklı işletim sistemleri barındırabilirler ve farklı marka ve modellerde üretilebilmektedirler (Yrjanainen et al.2020; Yongzhao et al. 2021). Gömülü sistemler genel bilgisayar mimarisinden farklı olduğu için enerji tüketimi ve maliyeti düşüktür. Günümüzde düşük maliyeti ve açık kaynak olması nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadırlar. Raspberry Pi, düşük maliyetli, bileşenlerine kolay erişim sağlanması ve kullanımında işlevsel ve esnek olmasından dolayı çok tercih edilen bir gömülü sistemdir.

Faerman ve arkadaşlarının çalışmasında Raspberry Pi ile titreşim sinyali ölçüm sistemi geliştirilmiştir. (Faerman et al. 2021)

Bu tez çalışmasında kurulan deney düzeneği için teknik özellikleri aşağıda belirtilen ve Şekil 11’de gösterilen Raspberry Pi gömülü sistem cihazı kullanılmıştır.

- Broadcom 2711 1.5GHz 4 çekirdekli Cortex A72 64-bit SoC
- 1GB/2GB/4GB LPDDR4 SDRAM
- 2.4GHz/5.0GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac kablosuz LAN Bluetooth 5.0, 2x USB 2.0 + 2x USB 3.0
- Gigabit Ethernet bağlantı noktası
- Boyutlar: 85.6 x 53.98 x 17 milimetre



Şekil 11. Raspberry Pi gömülü cihazı.

Titreşim Sensörü

Deney seti olarak kullanılan fiziksel sistemin titreşim verilerinin algılanması için Meas ismi ile bilinen bir titreşim sensöründen faydalanılmıştır.

MEAS (Measurement Specialties) titreşim sensörü, esnek anahtar veya frekans yanıt cihazı olarak kullanılabilir. Esnek yapısı sayesinde kullanımı uzun ömürlüdür. İnce polimer iki kıvrımlı bir yapıya sahiptir. Geniş kullanım alanları mevcuttur.

Boyutları: 0.98 * 0.52 inçtir, çalışma sıcaklıkları 0 ile +70 derece aralığında ve analog değer hassasiyeti 50 mV/g gibi temel özelliklere sahiptir (Anonymous 2020). Şekil 12’de

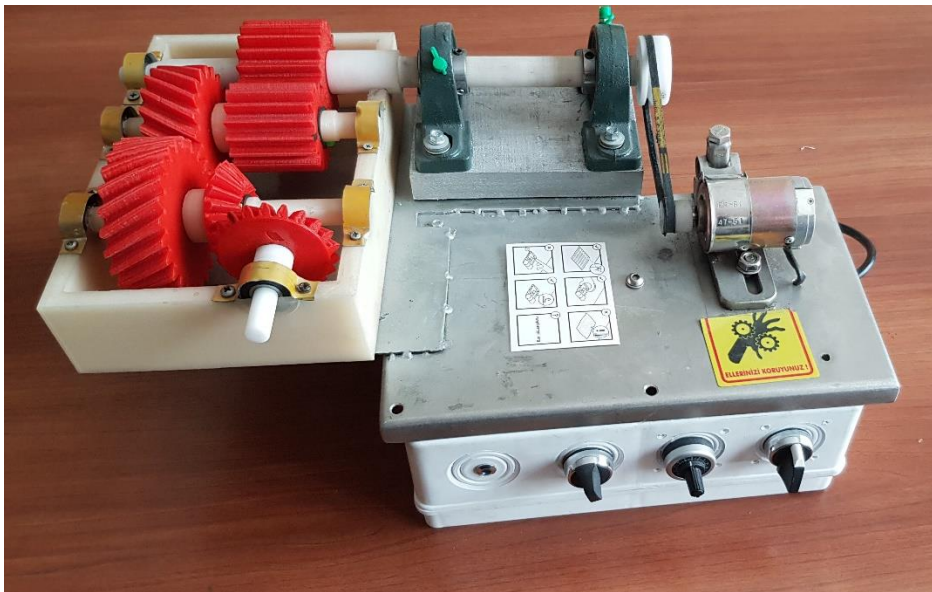
deneyde kullanılan ve gömülü sistem üzerine bağlantısı yapılan titreşim sensörüne ait resim verilmiştir.



Şekil 12. Titreşim sensörü MEAS.

Dişli çark sistemi

Mekanik sistemlerin bileşenlerinde veya tüm sistem genelinde zamanla oluşabilecek istenmeyen titreşimlerin sistem üzerinde olumsuz etkisi olduğu bilinmektedir. Mekanik sistemin sürekli algılayıcılar vasıtasıyla izlenmesi, sistemin bozulma eğiliminin önceden tespit edilmesi kestirimci bakım adı altında yapılmaktadır. Bu çalışmada birçok bileşeni 3D yazıcıda hazırlanmış Şekil 13'te resmi sunulan dişli sistem kullanılmıştır. Sisteme titreşim sensörü yerleştirilerek sistemin çalışması esnasında meydana gelen kendi doğal çalışma titreşimi dışındaki anormalliklerin tespitine çalışılmıştır. Titreşim verileri algılayıcıdan alınarak bir sınıflandırma algoritmasında değerlendirilmiş olup titreşim için makine mühendisliği alanında kullanılan analiz yöntemleri kullanılmamıştır. Bunun yerine ham verinin değerlendirilmesinde başarılı sonuçlar verebilen sezgisel algoritmalarından faydalanılmıştır.



Şekil 13. Dişli sisteme ait düzenek

Kenar Tasarım

Kenarda oluşturulan sistem tasarımına ait resim Şekil 14’te sunulmuştur. Titreşim sensörünün bağlantısına esneklik kazandırmak için gömülü sistem ile direk kablo kullanılarak bağlantı yapılmıştır. Sensör, titreşimin tüm sistem geneli için doğru olabilecek veri üretmesi hedefiyle ana gövde üzerinde kasnak ile dişli mekanizması arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 14. Kenar sistemin düzener ile birleştirilmiş şekli

Model Seçimi

Fiziksel sistemden gelen verileri değerlendirmek için bir model tasarımı yapılmıştır. Sistemde oluşan veriler titreşimi temsil etmektedir ancak veriler etiketsiz veri sınıfındadır. Bir girdiye karşın çıktı biçiminde etiketlere sahip olmayıp sadece sensör çıktısı biçiminde olduğundan öğretmensiz yöntemler arasında da yer verilen sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Veriler sınıflandırılırken gözetimsiz yöntemler kategorisine giren anomali tespit sınıflandırması kullanılarak aykırı durumlar tespit edilebilmektedir (Wang et al. 2006).

Sumanth ve Bhanu Raspberry Pi üzerinde kurulan bağlantı ile ağ üzerinde olağandışı davranışların tespitini yapmıştır. Gerçek zamanlı veri dinlemesi yapılarak kötü niyetli davranışların tespit edilip bunların önlenmesi için tedbirler önerilmiştir (Sumanth and Bhanu 2020). Yapılan çalışma her ne kadar siber güvenlik tedbirleri başlığı altında değerlendirilse de özünde bir gömülü sistem kullanılarak kenarda elde edilen verilerdeki anomaliliklerin tespiti bakımından tez çalışmasındaki yöntem ile benzerlik göstermektedir.

Anomali Tespit Yöntemi

Çok değişkenli veri analizlerinde aykırılık tespiti'nin önemi oldukça büyüktür (Abuzaid 2020). Anomali tespiti, belirli bir çerçevede olağandışı olayları keşfetmektir (Antonini et al. 2018). Anomali tespiti askeri ve siber güvenlik alanında büyük önem arz etmektedir. Anomali tespit etmenin bir diğer amacı ise yanlış pozitifleri en aza indirmektir (Schneible and Lu 2017).

Anomali tespit yöntemi kategorik etiket ve ağırlık değerinden faydalanarak değerlendirme yapmaktadır. Kategorik etiket sadece anormal olup olmadığı hakkında bilgi verir. Ağırlık değerinde ise o veri hakkında daha fazla bilgi vermektedir.

Kategorik etiket gözetimli öğrenme olarak kabul edilirken, ağırlık değeri gözetimsiz öğrenme sınıfına girmektedir. Ağırlık değeri kullanıcıya en düşük ağırlıktaki verileri döndürür. Kullanıcı kendi isteğine göre ağırlık sınırlaması yapabilmektedir.

Algoritma stratejisi, model eğitimi etiketi, aykırılık arayışının yerel veya genel olması ve üretilen sonuç açılarından değerlendirildiğinde dört çeşit anomali tespit yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada yerel aykırılık tespit yöntemi ile anomali tespiti yapılacaktır.

Anomalilikler tespit edilirken yerel aykırılık tespit algoritmasından yararlanılmıştır. Yerel aykırılık tespit algoritması (LOF – Local outlier algorithm) anormal durum tespitlerinde kullanılmaktadır. Veri dağılımında herhangi bir ön bilgi ihtiyacı gereksinimi yoktur.

Denetimsiz öğrenme yöntemlerinden biri olan LOF ile bu çalışmada titreşim verilerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Buna göre eğer verilerde anormal bir durum olduğu tespit edilirse sisteme geri dönüş yapılması sağlanmıştır. LOF algoritması, her verinin yoğunluğunun tespit edilip yoğunlukları en düşük olanları anomali sınıfına yerleştirmektedir.

Yerel Aykırılık Tespit Yöntemi (LOF)

Gözlem verilerinde anomali tespit etmek için kullanılan bir algoritmadır. Tüm gözlem verilerinin puanlandırılmasının yapılmasına dayanmaktadır (Anonymous 2020).

LOF algoritması gözlemlerin değerlendirilmesi için puanlandırma ya da ağırlıklandırma yapılarak gözlemlere bir değer atamaktadır. Her örneğin anomalilik puanına Yerel aykırı değer faktörü denmektedir. Yerel aykırılık değeri, verinin komşuların uzaklığına göre tahmini yoğunluk saptaması yapmaktadır. Gözlemlerin yerel yoğunluğu komşularının yerel yoğunlukları ile karşılaştırılarak komşularından daha düşük yoğunluğa sahip olanlar belirlenmektedir (Alshawabkeh et al 2010; Mishra and Chawla 2019).

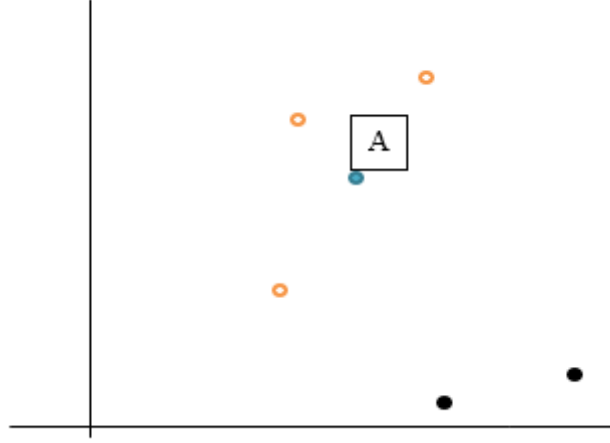
Algoritma LOF

1. Girdi: Toplanan veri N kümesi ve k komşu değeri
 2. Çıktı: LOF veri kümesi
 3. k-mesafe (N, k) = N kümesi verisinin k komşu sayısınca olan mesafeler hesaplanır. K'ıncı mesafe k-mesafesini döndürür.
 4. Erişilebilirlik (A, k) = k-mesafesi ile normal mesafenin maksimum olanı geri döndürür. A, N kümesinin elemanıdır.
 5. Başla
 6. Her veri A oku
 7. K komsu $\leftarrow$ topla (erişilebilirlik (A, k))
 8. LDR (A) $\leftarrow$ ($1/ Kkomsu$) /k
 9. Başla
 10. LOF (A) $\leftarrow$ topla (LDR ($Kkomsu$)/LDR (A)) /k
 11. Bitir
 12. Döndür LOF
 13. Bitir
-

LOF algoritmasının gerekli tanımlamaları şöyledir:

1. K mesafesi

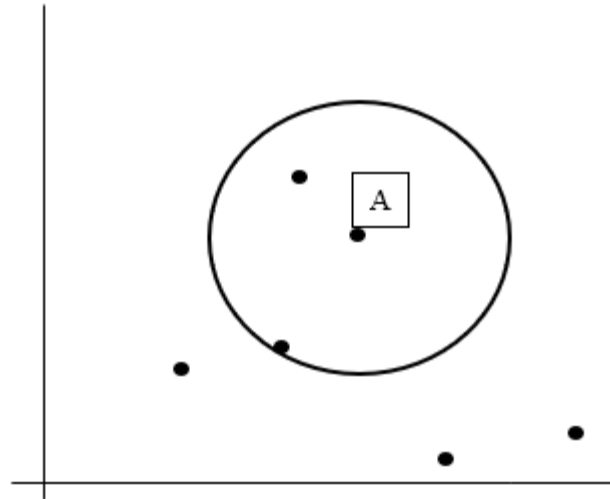
Gözlemlerin seçilen k sayısınca gözlemlerle aralarındaki mesafe hesaplanır. Uzaklıklar küçükten büyüğe doğru sıralanır. K'ıncı sıradaki mesafe değeri bize k-mesafe değerini verecektir. K mesafesi, k'ıncı en yakın komşusuna olan uzaklık olarak ifade edilebilir. Şekil 15 incelendiğinde A noktasının k değeri turuncu noktaların sayısının toplanması ile 3 değeri çıkmaktadır.



Şekil 15. K mesafesi gösterimi (Anonim 2020).

2. Erişilebilirlik Mesafesi

K mesafesi erişilebilirlik mesafesi hesaplamada kullanılacaktır. Elimizde iki mesafe vardır. Biri k-mesafesi ve diğeri de iki nokta arasındaki uzaklıktır. İki nokta arasındaki uzaklığı hesaplamak için Minkowski Algoritması kullanılmıştır. Algoritma, iki değer arasında en büyüğünün seçilerek erişilebilir mesafeyi hesaplamaktadır. K-mesafesi ile normal mesafenin arasında en büyük olanının bulunması işlemi erişilebilirlik olarak formülize edilmektedir.

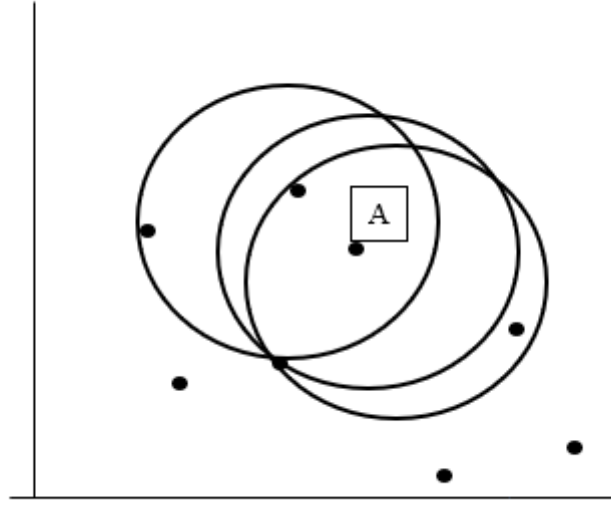


Şekil 16. Erişilebilirlik mesafesi gösterimi (Anonim 2020).

Şekil 16’da gösterilen çemberin içinde kalan noktaların erişilebilirlik mesafesi k mesafesi olacaktır. Dışında kalan ise normal mesafe olacaktır.

3. Yerel erişilebilirlik yoğunluğu

Yerel erişilebilirlik yoğunluğunu hesaplamak için erişilebilirlik mesafesi kullanılmıştır. Şekil 17’de A noktasının komşularının erişilebilirlik değerleri toplanıp k komşu sayısına bölünüp ardında tersi alınarak yerel erişilebilirlik yoğunluğu bulunur.



Şekil 17. Yerel erişilebilirlik yoğunluğu (LDR) (Anonim 2020).

Yerel erişilebilirlik yoğunluğunun matematiksel ifadesi:

$$LDR(A) = 1 / (\text{topla (erişilebilirlik (A.K))} / k)$$

A: LDR’si hesaplanacak nokta

K: Kullanıcının seçtiği komşu sayısı kadar nokta

k: Kullanıcının seçtiği komşu sayısı

4. Yerel Aykırılık değeri (LOF)

Hesaplanacak olan noktanın LDR değeri ve k en yakın komşularının LDR değerleri hesaplanır. Komşu LDR değerleri esas noktanın değerlerine bölünüp ortalaması alınır.

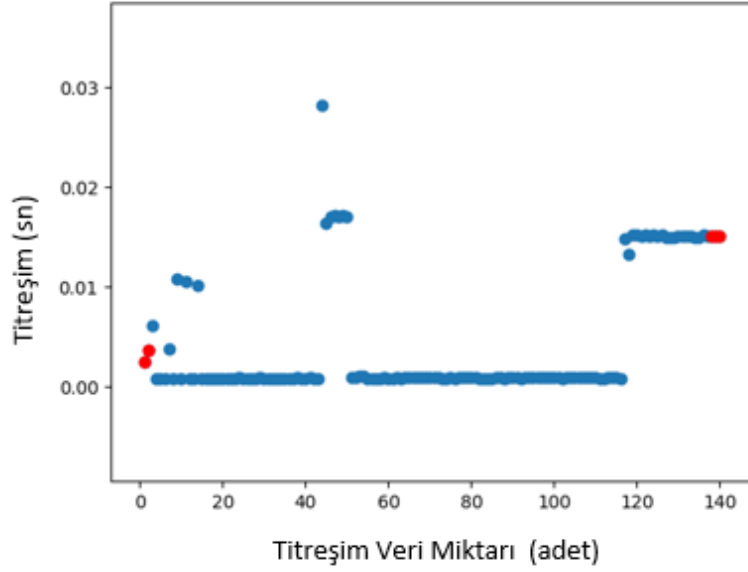
Formülize olarak ifadelendirilmesi:

$$LOF(A) = (LDR(Komşu1) / LDR(A) + LDR(Komşu2) / LDR(A) + LDR(Komşu3) / LDR(A) + \dots) / k$$

şeklinde yapılır.

5. Yerel aykırılık değeri sonuçlandırılması

Her gözlem için LOF değeri hesaplanır. Değerler birin altında ise yoğun bir bölgeyi gösterirlerken, birin üstünde olan değerler aykırı değerler olarak gösterilir (Breunig et al. 2000).



Şekil 18. Yerel aykırılık değeri sonuçlandırılması.

Şekil 18’ de gösterildiği gibi kırmızı noktalar aykırı noktalar olarak sınıflandırılmıştır.

Bhatt ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada LOF algoritması Şekil 19’da verilmiştir. Algoritmada, komşu erişilebilirlik değerleri ile esas noktanın erişilebilirlik değerleri oranları toplanıp esas erişilebilirlik değerine bölünmüştür. (Bhatt et al. 2016)

$$LOF(A) = \frac{\sum_{i=0}^K \frac{\text{erisilebilirlik (komsu)}}{\text{erisilebilirlik } A}}{|\text{erisilebilirlik } (A)|} \quad 1$$

Şekil 19. LOF Algoritması (Bhatt et al. 2016).

Mesafeyi bulmak için Minkowski Algoritması kullanılmıştır. Denklemden x ve y iki farklı noktayı k ise komşu sayısını ifade etmektedir. Farklı q değerleri ile çeşitli uzaklık ölçütleri tanımlanabilir. q için 2 değeri kullanılırsa Öklid, 1 değeri kullanılırsa Manhattan uzaklık değeri bulunmaktadır.

$$\sum_{i=1}^k |x_i - y_i|^q \quad \frac{1}{q} \quad 2$$

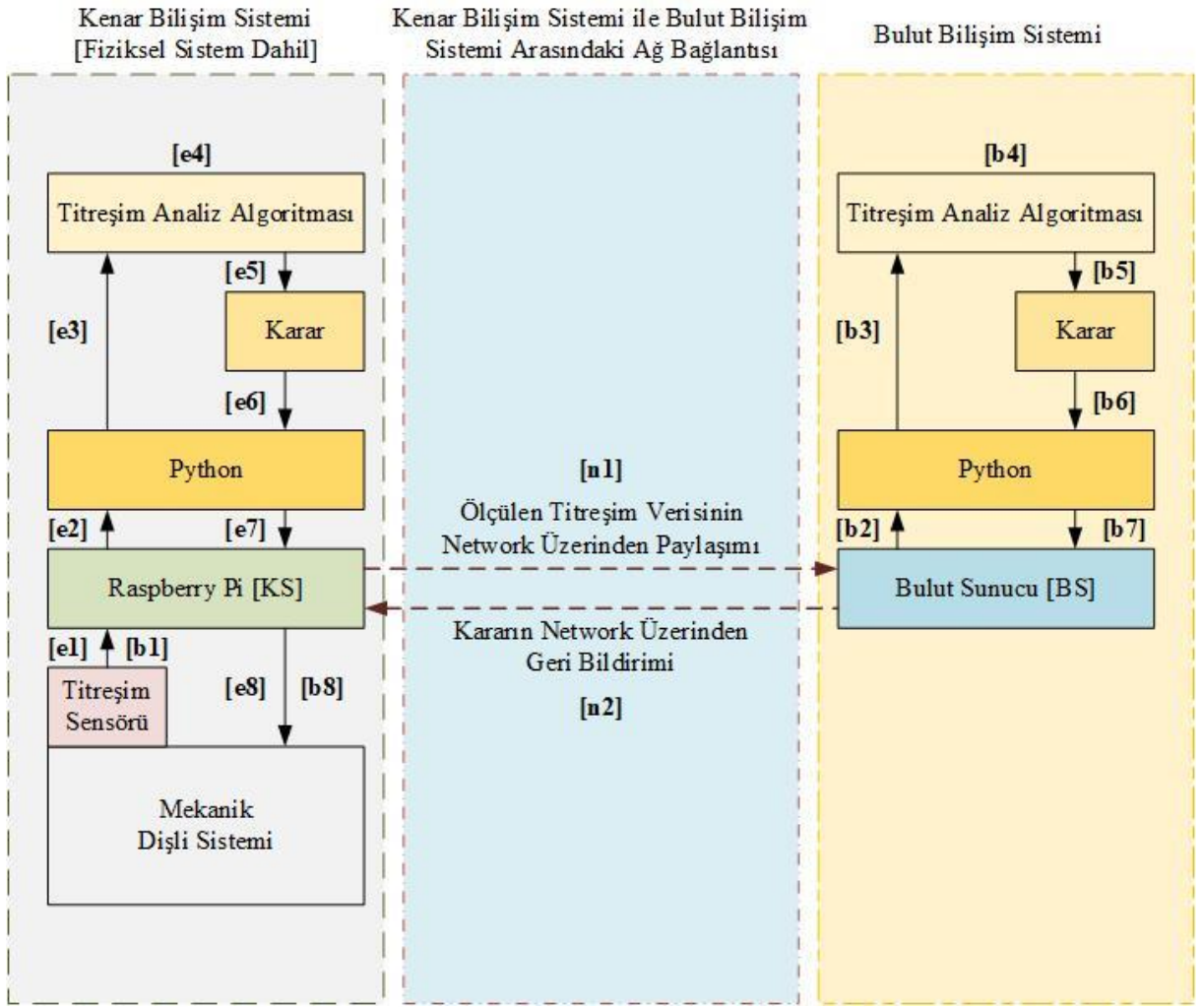
Deney Tasarımı

Deneyin Amacı

Deneyin temel çatısı Kenar Bilişim ile Bulut Bilişim sistemlerinin kıyaslanması üzerine inşa edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda her iki bilişim sisteminin de beraber işlev gösterebileceği fiziksel bir sistem kurulmuştur. Fiziksel sistemden algılayıcı aracılığıyla elde edilen titreşim verilerinin her iki bilişim sistemine gönderilip analiz edilmesi ve bu aşamalarındaki çeşitli sürelerin karşılaştırılması ilk faz olarak planlanmıştır. İkinci fazda ise; analiz sonucunda tespit edilen anomalilerin belirlenen eşik değere ulaştığında fiziksel sisteme cevap olarak geri döndürülmesi ve yine bu fazdaki aşamalarda geçen çeşitli sürelerin karşılaştırılması planlanmıştır.

Sistem çalışır vaziyette iken yaşanabilecek titreşim kaynaklı anomalilikler sebebiyle sistem problem çıkarmadan durdurulması geri bildirimi için akıllı bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma 3 farklı süre (5, 30 ve 300 saniye) için periyodik anomali tespiti yaparak eğer var ise elde ettiği anomali değerlerini ve aralarındaki süreleri saklayıp belli bir eşik değere ulaştığında sisteme muhtemel bozulma yaşanabileceği tahmini ile geri bildirimde bulunmaktadır. Tespit, analiz, karar ve geri dönüş biçimindeki aşamalar Kenar Bilişim mimarisindeki bir sistemden mi yoksa Bulut Bilişim mimarisindeki bir sistemden mi daha efektif olur sorusu yapılan çalışmanın ana düşüncesini oluşturmaktadır. Şekil 20’de deney tasarım aşamalarının tümü bir arada sunulmuştur. Deney tasarımı 3 ana unsurdan oluşmaktadır;

- 1) Kenar Bilişim sistemi (Fiziksel sistem bu aşamaya dahildir)
- 2) Kenar Bilişim sistemi ile Bulut Bilişim sistemi arasındaki ağ bağlantısı
- 3) Bulut Bilişim sistemi



Şekil 20. Deney tasarımı ana şeması

Deneyde Kullanılan Cihaz ve Donatılar

Kenar Bilişim sistemi, Bulut Bilişim sistemi ve fiziksel sistemin deneysel platformda benzetimi için aşağıdaki bileşenler kullanılmıştır;

1) Kenar Bilişim sistemi bir gömülü devre ve titreşim sensörü olarak planlanmıştır. Bunun için;

- Raspberry Pi gömülü devre
- Meas titreşim sensörü
- İşletim sistemi ve veri depolamak için microSD kart
- Besleme adaptörü ve diğer gerekli devre bağlantı aparatları
- UTP Cat-6 NIC ara kablosu

2) Bulut Bilişim sisteminde uzak sunucuya benzetim için NIC girişine sahip bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.

3) Fiziksel sistem için dişliler, gövde, motor ve kasnak bileşenlerinden oluşan 220 v besleme girişine sahip bir mekanizma kullanılmıştır. Fiziksel sistem Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Öğretim Görevlisi Selim Tezgel ve yine aynı bölümün son sınıf öğrencileri tarafından tasarlanarak deney setimize dahil edilmiştir.

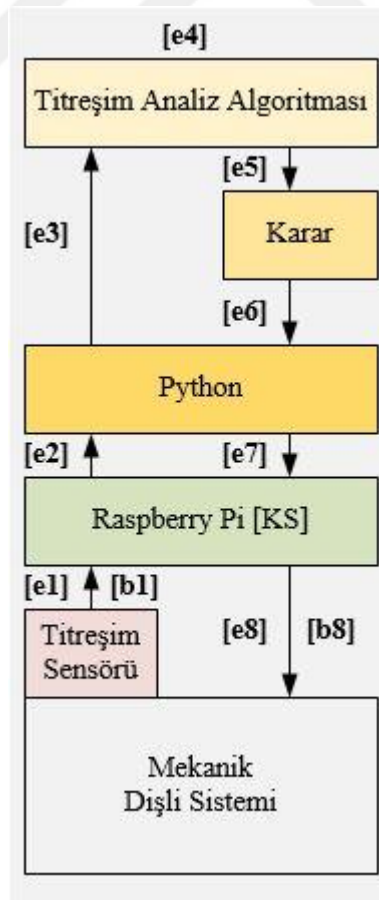
Kenar Bilişim Sistemi

Kenar Bilişim sisteminin konumu planlanırken iki kriter göz önünde bulundurulmuştur;

a) Kenar Bilişim sistemi algılanması planlanan fiziksel sisteme en yakın konumda olmalıdır.

b) Kenar Bilişim sistemi geri cevap dönülmesi gereken fiziksel sisteme en yakın konumda olmalıdır.

Fiziksel sistemin tepkisinin en hızlı biçimde algılanması, işlenmesi ve yine üretilen cevabın fiziksel sistemde hızlı etki göstermesi için minimum sürede iletilmesi önemli olup bu durumun deneysel ortamda benzetimine dikkat edilmiştir. Bulut Bilişim ile kıyaslamaların yapılabilmesi sürecin çeşitli aşamalarına birtakım metrikler tanımlanmıştır. Şekil 21’de Kenar Bilişim sistemi (fiziksel sistem dahil) metrikleri ile gösterilmiştir.



Şekil 21. Kenar Bilişim sistemi (Fiziksel sistem dahil)

Kenar Bilişim sistemine ait metrikler küçük **e** harfi ile Bulut Bilişim sistemine ait metrikler ise küçük **b** harfi ile sembolize edilmiştir.

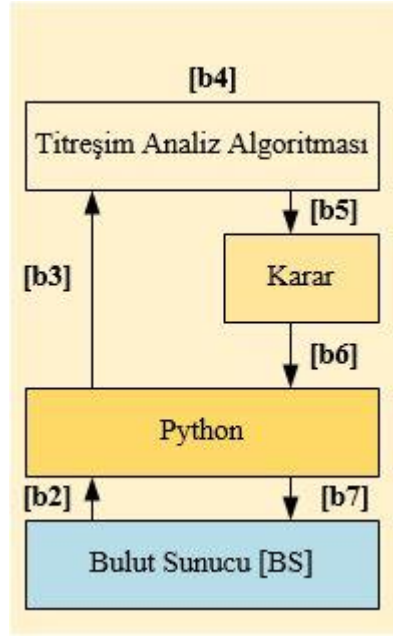
- [e1] : Fiziksel sistemin titreşim bilgisinin gömülü sisteme ulaşma süresi (sn.)
- [e2] : Gömülü sistemde verinin python betiğinde işlenmesi (sn.) [okuma/yazma]
- [e3] : Belirli süreler için (5, 30, 300 sn.) algılanan verinin okunması
- [e4] : Titreşim analiz algoritmasının çalışma süresi
- [e5] : Anomali kararının alınma süresi
- [e6] : Kararın bunu gömülü sisteme iletecek betiğe gönderimi
- [e7] : Kararın gömülü sisteme iletim süresi
- [e8] : Fiziksel sisteme cevap iletim süresi

Bulut Bilişim Sistemi

Bulut Bilişim sistemi planlanırken öncelikli olarak gerçek bir bulut sunucu aşamaları ortaya konulmuştur. Ülkemizde ya da dışarıda konumlandırılan bir sunucuya çeşitli ağ bağlantı aşamalarından geçilerek ulaşıldığı dikkate alınmıştır.

Deneyin maliyet ve kontrol edilebilirlik durumları göz önünde bulundurularak sadeleştirmeye gidilmesi kararlaştırılmıştır. Bu amaçla aynı alt ağ içerisinde kablolu bir bağlantının yapılması ve sunucu yerine bir bilgisayarın konumlandırılması kararlaştırılmıştır.

Gerçek bir bulut sunucuda gecikme ve dalga bozulumu (jitter) gibi parametre değerlerinin daha fazla olabileceği dikkate alınmış ancak kurulan deney düzeneğinin büyük ölçüde Kenar Bilişim ve Bulut Bilişim platform karşılaştırması yapabilecek veriler üreteceği, deneyin güvenilirliğini büyük oranda etkilemeyeceği düşünülmüştür. Şekil 22’de Bulut Bilişim sistemi metrikleri ile verilmiştir.



Şekil 22. Bulut Bilişim sistemi

Bulut Bilişim sistemine gelen verinin ilk çıkış noktası fiziksel sistem olduğu için metriklerin bir kısmı Şekil 20’de gösterilmiştir. Buna göre Bulut Bilişim sistemi için metrikler aşağıdaki gibi kodlanmıştır;

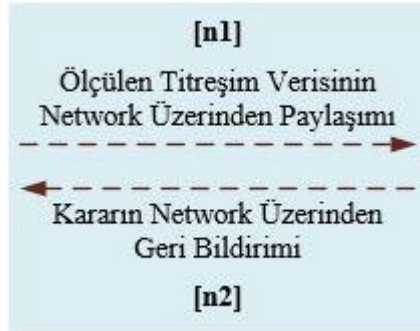
- [b1] : Fiziksel sistemin titreşim bilgisinin gömülü sisteme ulaşma süresi (sn.)
- [b2] : Bulut sistemde verinin python betiğinde işlenmesi (sn.) [okuma/yazma]
- [b3] : Belirli süreler için (5, 30, 300 sn.) algılanan verinin okunması
- [b4] : Titreşim analiz algoritmasının çalışma süresi
- [b5] : Anomali kararının alınma süresi
- [b6] : Kararın bunu bulut sisteme iletecek betiğe gönderimi
- [b7] : Kararın bulut sisteme iletim süresi
- [b8] : Fiziksel sisteme cevap iletim süresi

Kenar Bilişim Sistemi ile Bulut Bilişim Sistemi Arasındaki Ağ Bağlantısı

Veri kaynağı fiziksel sistem olup kaynağa en yakın sistem olarak Kenar Bilişim sistemi bulunmaktadır. Bulut Bilişim sistemi benzetimi yapılabilmesi için belli seviyeye kadar Kenar Bilişim sisteminin kaynakları kullanılmıştır. Fiziksel sistem bir nesne olarak düşünülür ise Nesnelerin İnterneti kapsamında bulut tabanlı sistemler benzer biçimde çalışmaktadırlar.

Fiziksel nesnenin dijital bileşeni kendi üzerinde herhangi bir algoritmik değerlendirme işlemi yapmadan veriyi ham biçimde kendisine adresleyen bulut sistemine göndermektedir.

Deney tasarlanırken bu aşamada depolanan verinin beklemeksizin ağ bağlantısı kullanılarak bulut sisteme aktarımı sağlanmıştır. Bağlantı TCP/IP protokolü ile yapılmış olup, IEEE802.3x kullanılmıştır. Buradaki metrikler önemli olup Şekil 23'ten de görüleceği üzere verinin kaynağından bulut sisteme iletim süresi ve yine bulut sisteminden kaynağa tekrar cevabın gönderim süresinin ayrı ayrı ölçülmesine dikkat edilmiştir.



Şekil 23. Kenar Bilişim sistemi ve Bulut Bilişim sistemi ağ metrikleri.

İki değer ölçülmüş olup deneyin bu kısmı için metrikler aşağıdaki gibi kodlanmıştır;

[n1] : Ölçülen titreşim verisinin kaynaktan bulut sisteme iletilmesi süresi

[n2] : Bulut sistemde üretilen cevabın kaynağa iletmek üzere gömülü sisteme iletim süresi

Veri İşlemleri

Veri ile yapılacak çeşitli analiz ve ölçüm aşamaları için birtakım betiklerin yazılması gerekmiştir. Akademik alanda yaygın olarak kullanılan komut dosya tabanlı diller sınıfına giren ve geniş bir kütüphane alt yapısına sahip olan python dilinin kullanılması tercih edilmiştir. Veriler ile ilgili çeşitli işlemler için aşağıdaki betikler hazırlanmış ve kullanılmıştır;

- Fiziksel sistemden verilerin okunması ve mikroSD karta yazılması betiği
- MikroSD karttan verilerin analiz için okunması betiği
- Anomali analiz algoritması betiği
- Anomali karar ve sisteme cevap algoritması betiği
- Kenar sistemden bulut sisteme veri iletim betiği
- Bulut sistemden kenar sisteme veri iletim betiği

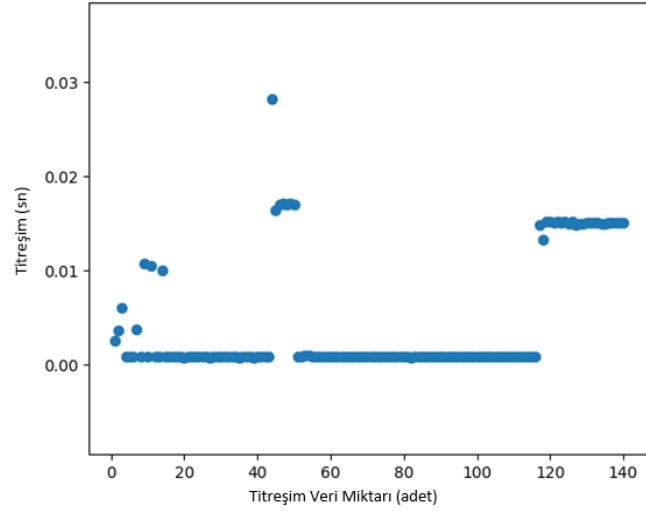
Veri işlemleri yapılırken kullanılan anomali analiz algoritması betiği sözde kodu aşağıdaki algoritma betiğinde verilmiştir.

Analiz algoritması betiği

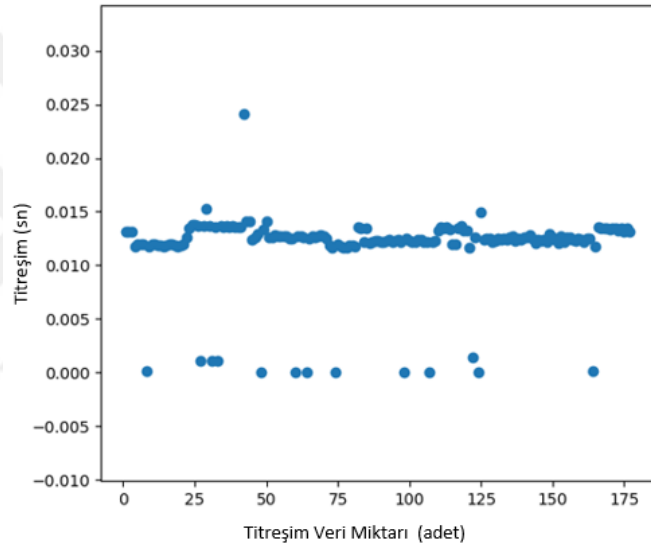
1. Girdi: Toplanan titreşim veri kümesi ve komşu sayısı
 2. Çıktı: Aykırı veri değeri
 3. N veri kümesi $\leftarrow$ Toplanan titreşim veri kümesi
 4. k komşu sayısı $\leftarrow$ komşu sayısı
 5. k -mesafe (N, k)
 6. erişilebilirlik (A, k)
 7. Başla
 8. Her veri A oku
 9. K komsu $\leftarrow$ topla (erişilebilirlik (A, k))
 10. $LDR(A) \leftarrow (1/Kkomsu) / k$
 11. Başla
 12. $LOF(A) \leftarrow$ topla ($LDR(Kkomsu)/LDR(A)$) $/k$
 13. Bitir
 14. Döndür LOF
 15. Bitir
 16. Sıralı Küme $\leftarrow$ Sırala LOF veri seti
 17. Aykırı veri kümesi $\leftarrow$ Sıralı kümenin en az yoğunluktaki belirli oranda veriyi al
 18. Aykırı veri değeri $\leftarrow$ Aykırı veri kümesi uzunluğu
-

Çalışmanın ana düşüncesi etrafından ayrılmamak amacıyla basit bir titreşim sensörü tercih edilmiştir. Fiziksel sistemin titreşiminde sensör bağlı bulunduğu gömülü devrenin pin ucunu dijital olarak Yüksek (1) yapmakta ve titreşim sönümlendiğinde Düşük (0) yapmaktadır. Fiziksel sistemden verilerin okunması ve mikroSD karta yazılması betiğinde ilgili pin bağlantısının Yüksek-Düşük arasında geçen süre titreşim değeri olarak değerlendirilmiştir.

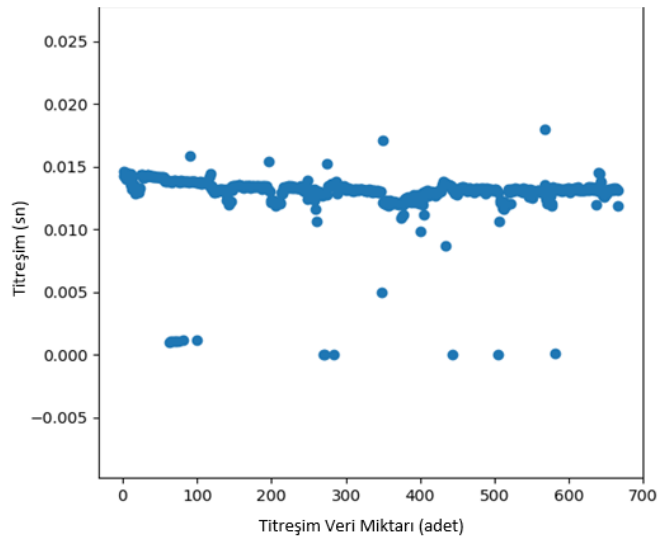
Genel olarak elde edilen veri milisaniyeler cinsinden tek sütun ölçüm verisidir. Titreşim konusu bir başka mühendislik disiplini olan Makine Mühendisliğinin ana başlıklarından olup burada sadece fiziksel sistemden ham verinin alınıp sezgisel sınıflandırma algoritmalarında değerlendirilmesi yapılmıştır. Veri setlerinden birer örnek Şekil 24'te sunulmuştur.



(a)



(b)



Şekil 24. Toplanan veri seti (a): 5 sn., (b): 30 sn., (c): 300 sn.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Deneyssel araştırma planlanırken belirlenen metriklerin hem kendi aralarında hem de birbirleri ile kıyaslanması düşünülmüştür. Bu plan doğrultusunda elde edilen bulgular sistemleri genel olarak karşılaştırma imkânı verirken diğer yandan da sistem içi çeşitli aşamaların kıyaslanmasına imkân tanımıştır. Bulgular Şekil 20’de verilen deney ana tasarım şemasındaki metrikler dikkate alınarak sunulmuştur.

Üç farklı süre (5, 30, 300 sn.) için deney tekrarlanmıştır. Bulguların sunumu yapılırken üç adet deneyin yapıldığı dikkate alınmalıdır. Bulguların sunumunu kolaylaştırmak ve oluşabilecek karışıklığı önlemek adına deneyler aşağıdaki şekilde kodlanmıştır;

5 sn. süre ile algılanan veri ile yapılan deneyler için D5 kodu,

30 sn. süre ile algılanan veri ile yapılan deneyler için D30 kodu,

300 sn. süre ile algılanan veri ile yapılan deneyler için D300 kodu kullanılmıştır.

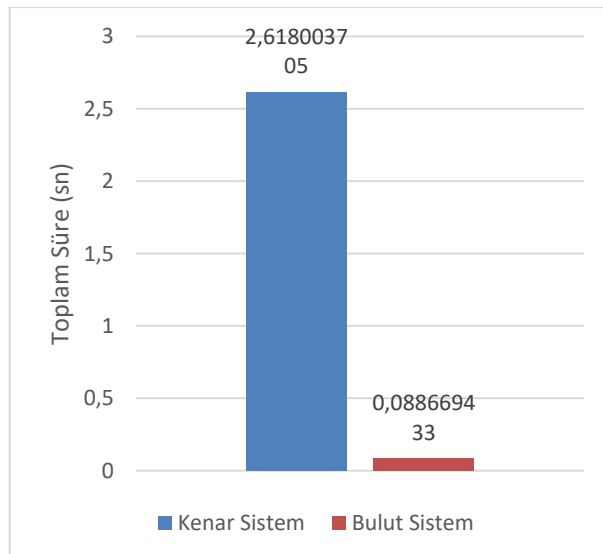
Genel Sistem Karşılaştırma Bulguları D5

Her iki sistemin 1 ile 8 arasında çeşitli aşamalar için süre toplamaları genel bir karşılaştırma imkânı vermektedir. Şekil 25’te Kenar ve Bulut Sistemi D5 deneyi için toplam hesaplama süreleri verilmiştir.

Kenar ve Bulut Sistemleri D5 Genel Sonucu

kenarSistemD5 = toplam (e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8)

bulutSistemD5 = toplam (b1, n1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, n2, e8)



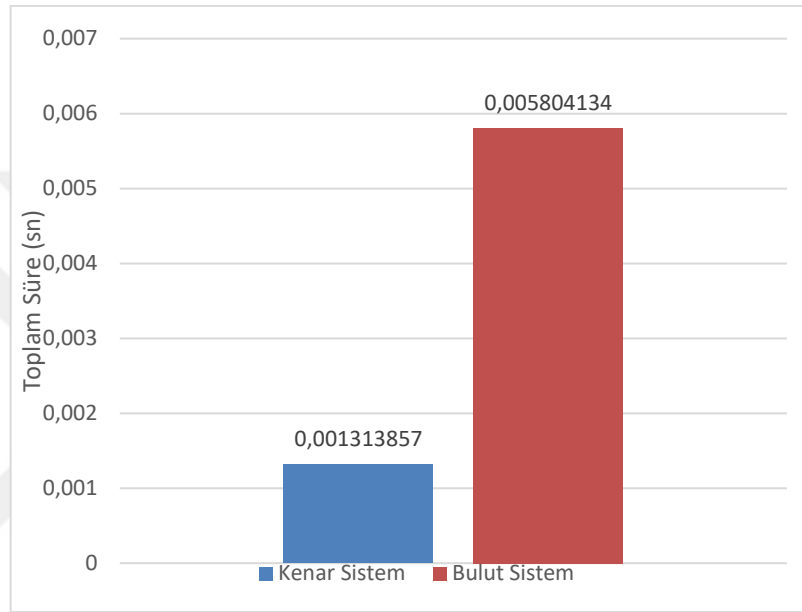
Şekil 25. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 genel sonucu

D5 deneyine göre tüm metrikler uçtan uca birlikte değerlendirildiğinde Bulut Bilişim sistemi Kenar Bilişim sistemine göre daha performanslı olduğu Şekil 25'te görülmektedir. Bu farklılığın sebebini tespit etmek üzere metrikleri alt parçalara ayırarak incelemek faydalı olacaktır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D5 Python Katmanına Verinin Ulaşım Sonucu

kenarSistemD5python = toplam (e1, e2)

bulutSistemD5python = toplam (b1, n1, b2)



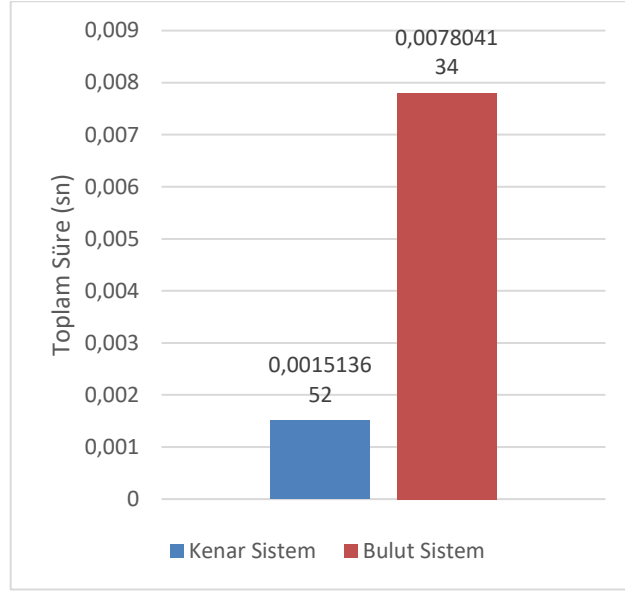
Şekil 26. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 python katmanına verinin ulaşım süreleri

D5 deneyi için ilk incelenmesi gereken metrikler fiziksel sistemden titreşim bilgisinin gömülü sistemdeki python betiğine ulaşması için geçen süredir. Bu bilgi kenar sistem için [e1+e2] ile bulut sistem için [b1+n1+b2] ile belirlenmiştir. Kenar sistemden farklı olarak bulut sistemde süre değerlendirmesine, verinin gömülü sistemden bulut sisteme ağ üzerinden transferi için geçen n1 süresi eklenmiştir. Şekil 26'da görüleceği üzere kenar sistem bu aşamadaki metrikler yönünden daha performanslıdır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D5 Verinin Analiz Algoritmasına Ulaşım Sonucu

kenarSistemD5analizErisim = toplam (e1, e2, e3)

bulutSistemD5analizErisim = toplam (b1, n1, b2, b3)



Şekil 27. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 verinin analiz algoritmasına ulaşım süreleri

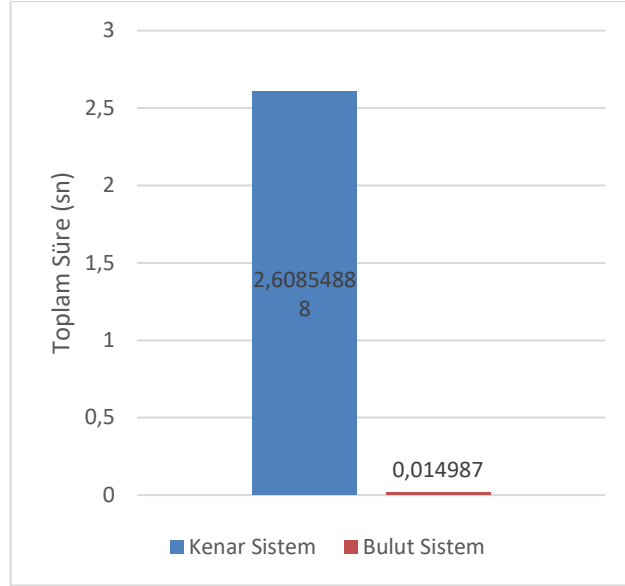
Her iki sistem karşılaştırmasındaki metriklere Şekil 26'dan farklı olarak Şekil 27'de görüleceği üzere [e3] ve [b3] eklenerek verinin titreşim anomali algoritma betiğine ulaşmaya kadar geçen süre ayrıca değerlendirilmiştir. Kenar Bilişim sisteminin Bulut Bilişim sistemine nazaran performans üstünlüğü burada da görülmektedir.

Kenar ve Bulut Sistemleri D5 Verinin Analiz Edilmesi Sonucu

kenarSistemD5analizYapma = (e4)

bulutSistemD5analizYapma = (b4)

Sistemlerin donanımsal mimarilerinin süreci oldukça etkilediği metrik [e4] ile [b4], Şekil 28'de görüldüğü üzere Bulut Bilişim sistemini performans olarak Kenar Bilişim sisteminin oldukça önüne geçirmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere gömülü sistem donanımsal kaynakları Bulut Bilişim sisteminden oldukça düşüktür. Nesnelerin interneti doğası gereği kenarda olup fiziksel sisteme en yakın bulunması gereken gömülü cihazlar sürdürülebilirlik açısından belli kapasite sınırlarında tutulmaktadırlar. Gönderilen verinin anomali tespitinin yapıldığı bu aşamada yüksek işlemci ve bellek gücüne sahip olan Bulut Bilişim sistemi kendisine oranla düşük işlemci ve bellek gücüne sahip Kenar Bilişim sistemine karşın önemli bir performans farklılığı ortaya koymuştur. Bu kısımdaki etki uçtan uca yapılan ölçümün sonucunu değiştirici etkiye sahiptir.

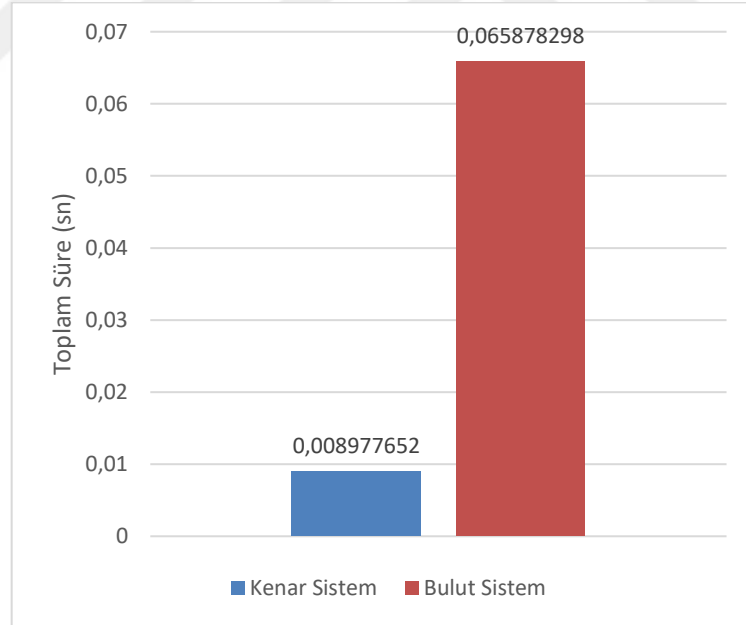


Şekil 28. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 verinin analiz süreleri

Kenar ve Bulut Sistemleri D5 Analiz Sonucunun Sisteme Döndürülme Sonucu

kenarSistemD5analizYapma = (e5, e6, e7, e8)

bulutSistemD5analizYapma = (b5, b6, b7, n2, b8)

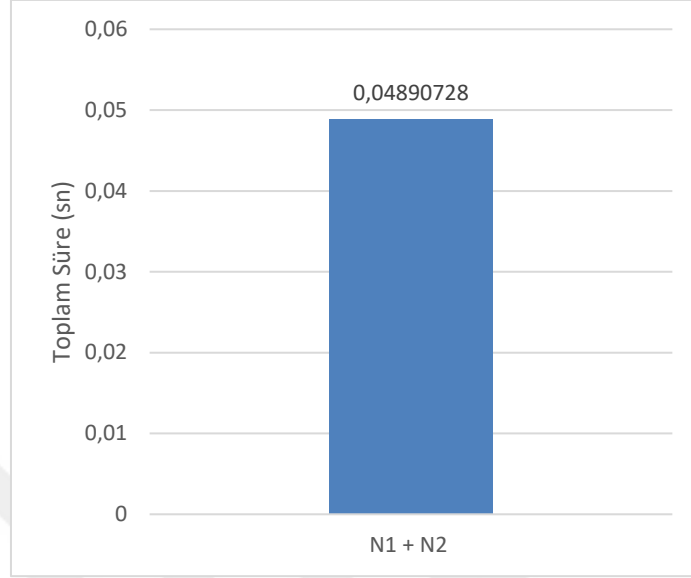


Şekil 29. Kenar ve Bulut Sistemleri D5 analiz sonucunun sisteme döndürülme süreleri

İşlenen verinin cevap olarak sisteme döndürülmesi süreçlerini içeren kenar sistem için [e5+e6+e7+e8] ve bulut sistem için [b5+b6+b7+n2+b8] metriklerinin karşılaştırması Şekil 29’da verilmiştir. Bu metriklerden de görüleceği üzere [e4] ve [b4] değerlendirme içinde olmadığı durumda Kenar Bilişim sistemi yine Bulut Bilişim sistemine nazaran oldukça performanslıdır.

D5 Ağ Gecikmesi Sonucu

$$agGecikmesiD5 = \text{toplam} (n1, n2)$$



Şekil 30. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D5 ağ gecikmesinin süresi

Gömülü sistemden verilerin bulut sistemine aktarımı ve ardından cevabın bulut sisteminden gömülü sisteme döndürülmesi için geçen süre D5 deneyi açısından değerlendirilmiş olup Şekil 30'da verilmiştir. Sadece $[n1+n2]$ metriklerinin toplamı hesaplanmıştır.

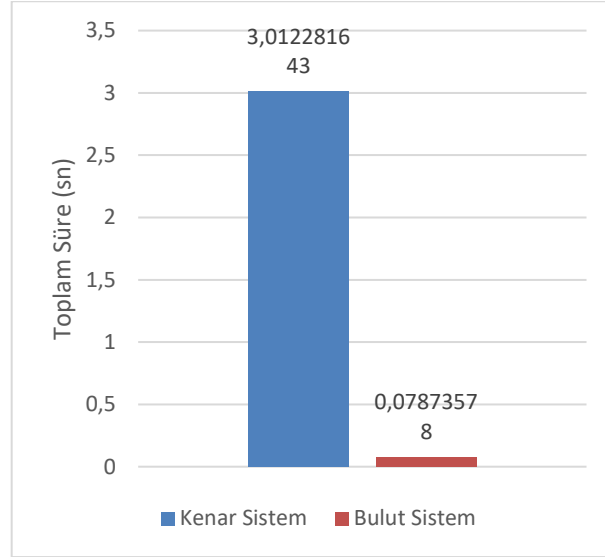
Genel Sistem Karşılaştırma Bulguları D30

Kenar ve Bulut Sistemleri D30 Genel Sonucu

$$\text{kenarSistemD30} = \text{toplam} (e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8)$$

$$\text{bulutSistemD30} = \text{toplam} (b1, n1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, n2, e8)$$

D30 deneyinin kenar ve bulut sistemler için toplam hesaplanma süreleri Şekil 31'de gösterilmiştir. D5 deneyinde olduğu gibi D30 deneyinde de tüm metrikler uçtan uca birlikte değerlendirilmiş olup Bulut Bilişim sistemi Kenar Bilişim sistemine göre daha performanslı olduğu Şekil 31'de görülmektedir. Bu deneyin bir öncekinden önemli farkı veri miktarının artmış olmasıdır. D5 deneyinde bir periyotta 5 sn. süre ile algılanan veri miktarı analiz algoritmasına gönderilirken D30 deneyinde 30 sn. süre için aynı işlem tekrarlanmıştır.

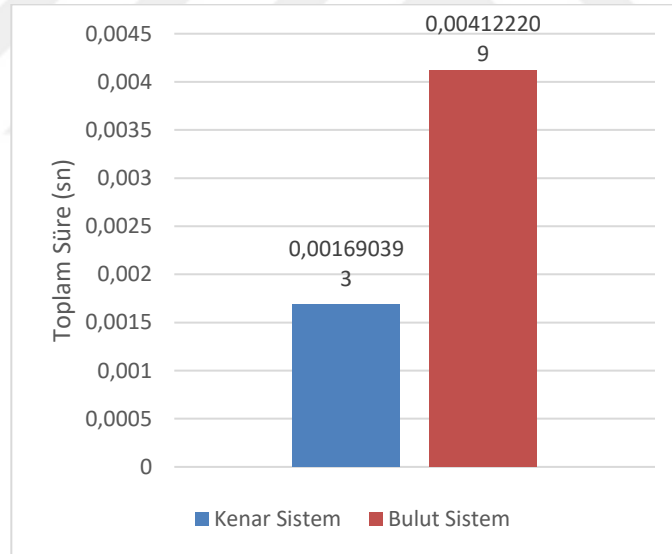


Şekil 31. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 genel sonucu

Kenar ve Bulut Sistemleri D30 Python Katmanına Verinin Ulaşım Sonucu

kenarSistemD30python = toplam (e1, e2)

bulutSistemD30python = toplam (b1, n1, b2)



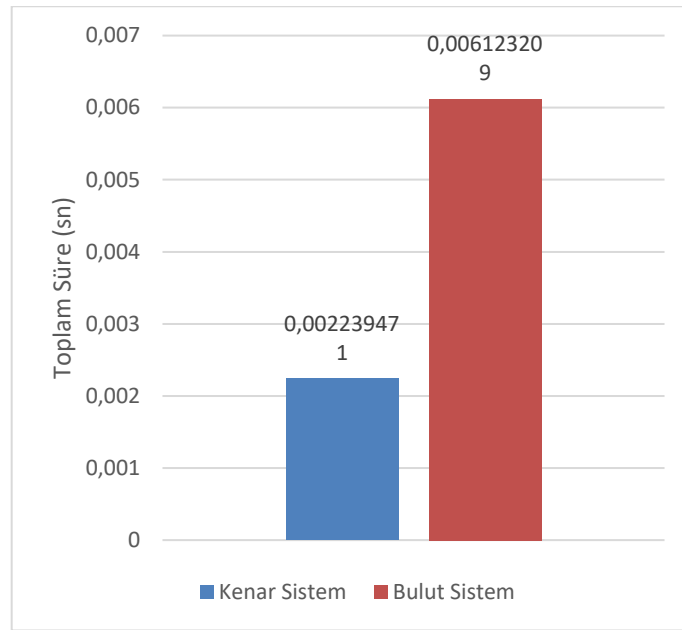
Şekil 32. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 python katmanına verinin ulaşım süreleri

D30 deneyi için fiziksel sistemden titreşim bilgisinin gömülü sistemdeki python betiğine ulaşması için geçen sürelerin değerlendirmesinde Şekil 32’de görüleceği üzere kenar sistem bu aşamadaki metrikler yönünden D5’te olduğu gibi yine daha performanslıdır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D30 Verinin Analiz Algoritmasına Ulaşım Sonucu

kenarSistemD30analizErisim = toplam (e1, e2, e3)

bulutSistemD30analizErisim = toplam (b1, n1, b2, b3)



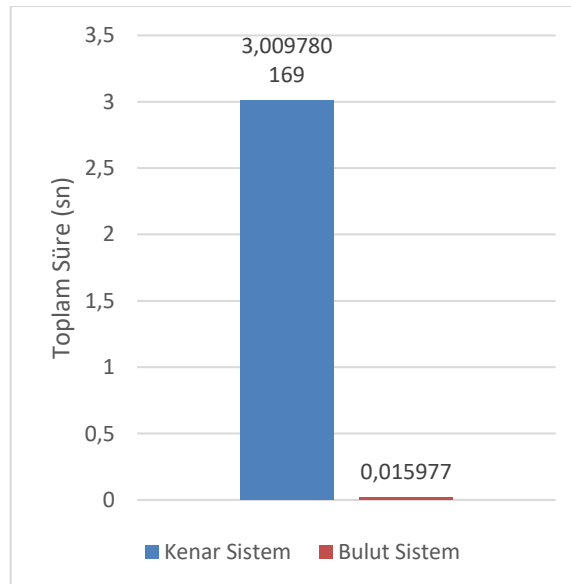
Şekil 33. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 verinin analiz algoritmasına ulaşım süreleri

D30 deneyi için [e3] ve [b3] metriklerinin önceki süreye eklendiği hali ile geçen süre Şekil 33'te verilmiş olup yine Kenar Bilişim sisteminin Bulut Bilişim sistemine nazaran performans üstünlüğü devam etmektedir.

Kenar ve Bulut Sistemleri D30 Verinin Analiz Edilmesi Sonucu

kenarSistemD30analizYapma = (e4)

bulutSistemD30analizYapma = (b4)



Şekil 34. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 verinin analiz süreleri

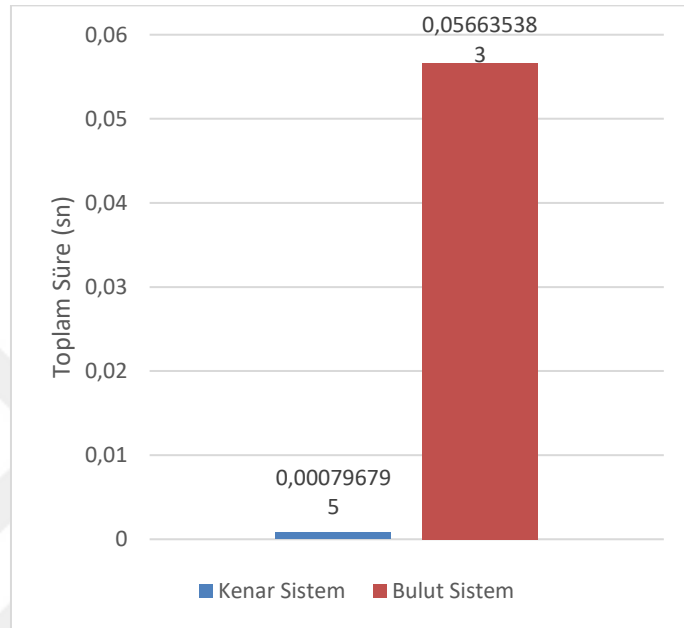
Veri miktarının artması ile D30 deneyi için sistemlerin donanımsal mimarilerinin sürece etkisi daha da belirginleşmiş olduğu Şekil 34'te görülmektedir.

Her iki sistem arasındaki performans farklılığının ana kaynağını oluşturan [e4] ile [b4] metrikleri farkı iyice açmaktadır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D30 Analiz Sonucunun Sisteme Döndürülme Sonucu

kenarSistemD30analizYapma = (e5, e6, e7, e8)

bulutSistemD30analizYapma = (b5, b6, b7, n2, b8)

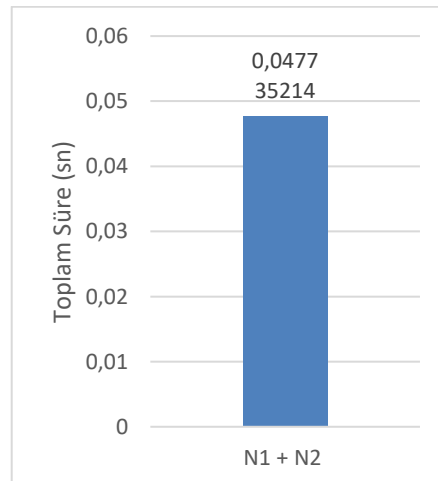


Şekil 35. Kenar ve Bulut Sistemleri D30 analiz sonucunun sisteme döndürülme süreleri

İşlenen verinin cevap olarak sisteme geri döndürülmesinin sonuçları D30 deneyinde de Şekil 35’te görüldüğü üzere Kenar Bilişim sisteminin performans üstünlüğü ile neticelenmiştir.

D30 Ağ Gecikmesi Sonucu

agGecikmesiD30 = toplam (n1, n2)



Şekil 36. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D30 ağ gecikmesinin süresi

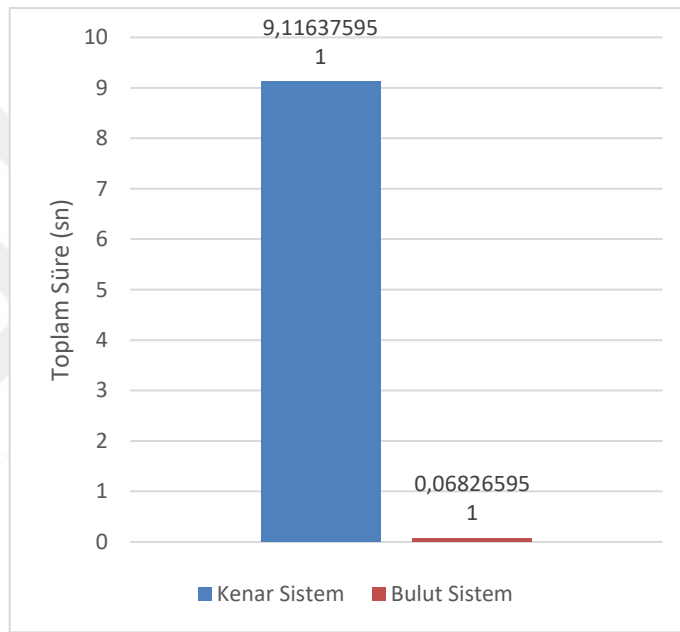
D30 deneyindeki [n1+n2] metrikleri D5 deneyinden çok farklı olmadığı görülmektedir. 5 saniye ile 30 saniyelik periyotlar için algılanan veri miktarının ağ üzerinden aktarım süreleri sistem genelini etkilemeyecek seviyede gerçekleşmiştir. D30 deneyi için ağ gecikme süresi (Latency) Şekil 36’da sunulmuştur.

Genel Sistem Karşılaştırma Bulguları D300

Kenar ve Bulut Sistemleri D300 Genel Sonucu

kenarSistemD300 = toplam (e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e8)

bulutSistemD300 = toplam (b1, n1, b2, b3, b4, b5, b6, b7, n2, e8)



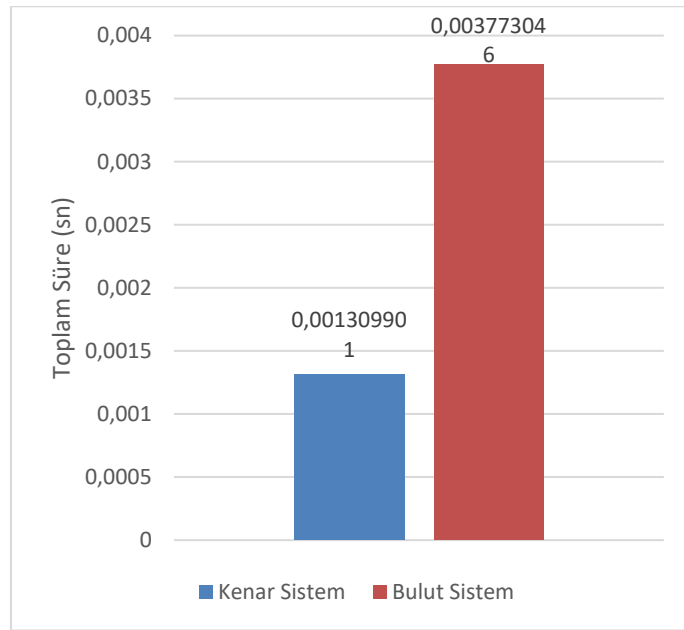
Şekil 37. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 genel sonucu

D5, D30 deneylerindeki sonuç D300 deneyinde daha da artarak devam etmektedir. Şekil 37’de görüleceği üzere 300 saniyelik periyotta artan veri miktarına bağlı olarak performansın bulut sistemin lehine artarak sürdüğü anlaşılmaktadır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D300 Python Katmanına Verinin Ulaşım Sonucu

kenarSistemD300python = toplam (e1, e2)

bulutSistemD300python = toplam (b1, n1, b2)



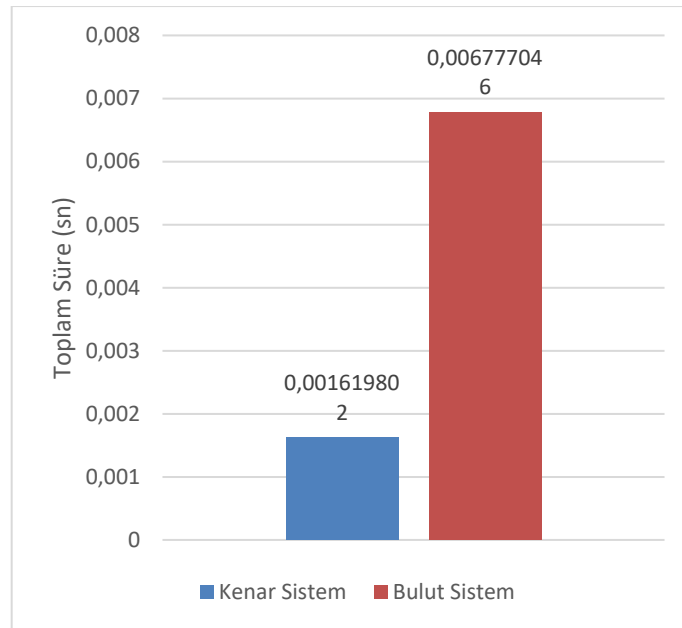
Şekil 38. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 python katmanına verinin ulaşım süreleri

D300 deneyi için fiziksel sistemden titreşim bilgisinin gömülü sistemdeki python betiğine ulaşması için geçen sürelerin değerlendirmesi Şekil 38’de verilmiştir. Kenar sistem bu aşamadaki metrikler yönünden D5 ve D30 da olduğu gibi yine daha performanslıdır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D300 Verinin Analiz Algoritmasına Ulaşım Sonucu

kenarSistemD300analizErisim = toplam (e1, e2, e3)

bulutSistemD300analizErisim = toplam (b1, n1, b2, b3)



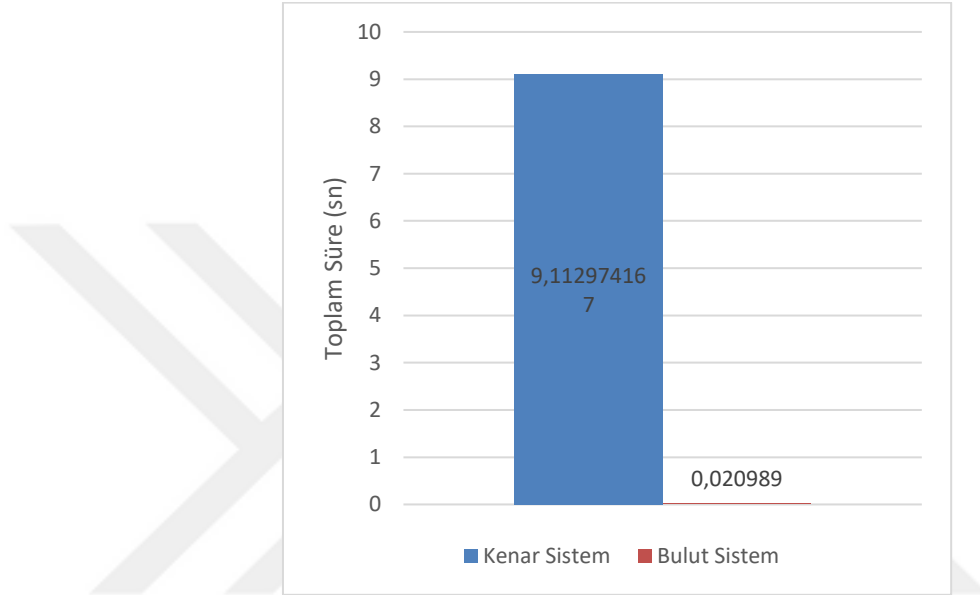
Şekil 39. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 verinin analiz algoritmasına ulaşım süreleri

D300 deneyi için [e3] ve [b3] metriklerinin önceki süreye eklenmesi neticesi Şekil 39’da verilmiş olup yine Kenar Bilişim sisteminin Bulut Bilişim sistemine nazaran performans üstünlüğü devam etmektedir.

Kenar ve Bulut Sistemleri D300 Verinin Analiz Edilmesi Sonucu

kenarSistemD300analizYapma = (e4)

bulutSistemD300analizYapma = (b4)



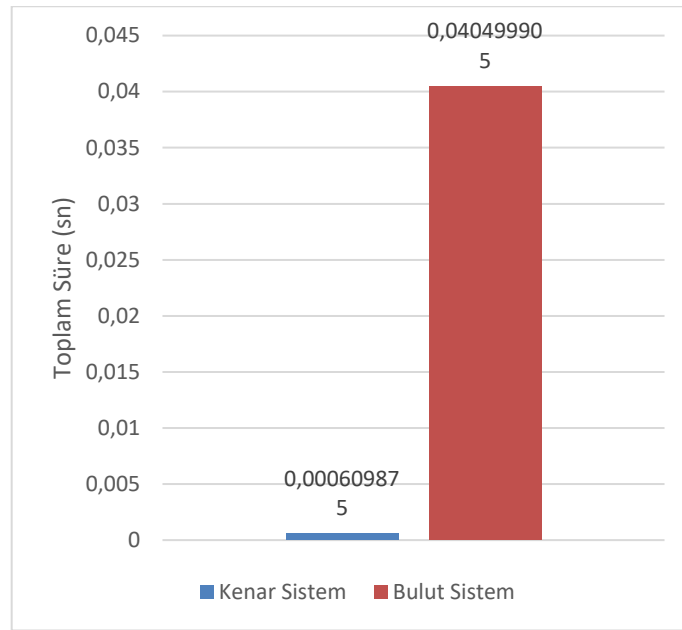
Şekil 40. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 verinin analiz süreleri

Veri miktarındaki artış artık kendini belirgin biçimde göstermiştir. D300 deneyi için Şekil 40’ta görüleceği üzere sistemler arası performans farklılığı çok büyük boyuta ulaşmıştır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D300 Analiz Sonucunun Sisteme Döndürülme Sonucu

kenarSistemD300analizYapma = (e5, e6, e7, e8)

bulutSistemD300analizYapma = (b5, b6, b7, n2, b8)

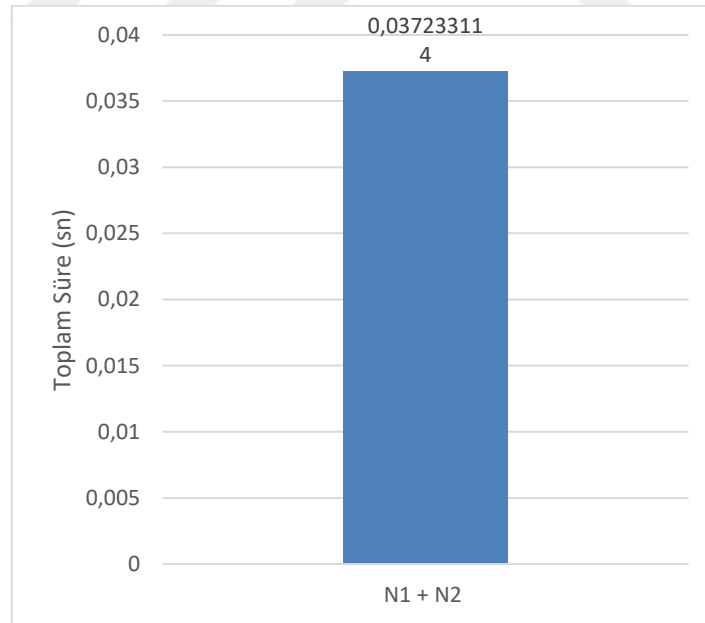


Şekil 41. Kenar ve Bulut Sistemleri D300 analiz sonucunun sisteme döndürülme süreleri

Sistemlerin geri cevap döndürme süreleri Şekil 41’den görüleceği üzere performans farklılığını Kenar Bilişim sistemi lehine korumaya D300 deneyi için de devam etmektedir.

D300 Ağ Gecikmesi Sonucu

$agGecikmesiD300 = toplam (n1, n2)$



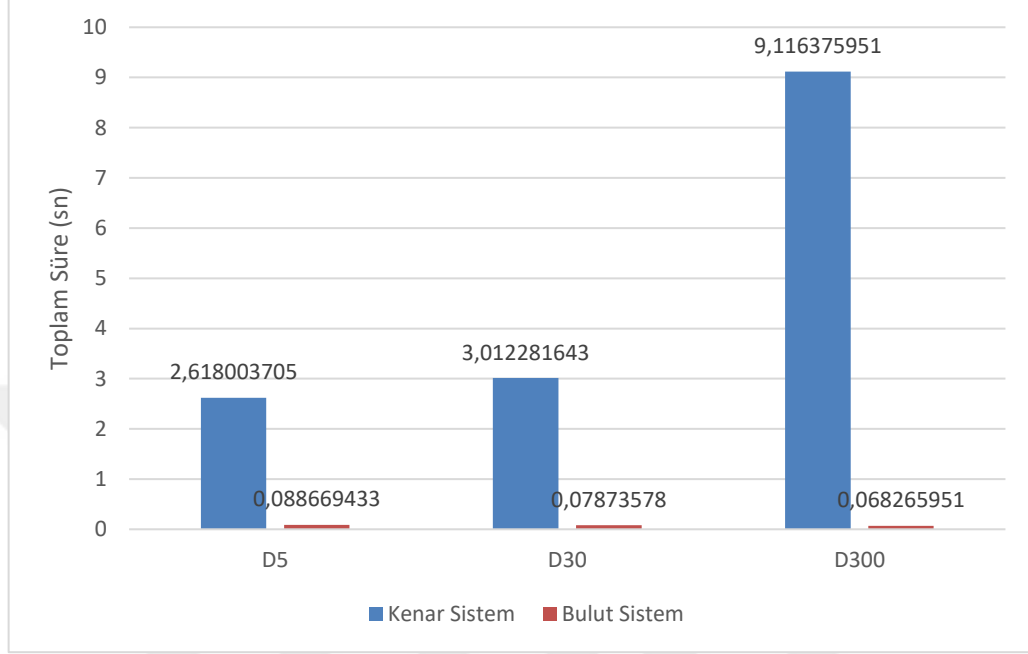
Şekil 42. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D300 ağ gecikmesinin süresi

Şekil 42’de D300 ağ gecikme süresi diğer iki deney D5 ve D30’da olduğu gibi biraz azalmış olsa da diğerleri ile benzerlik göstermektedir. Her üç deneyin birlikte değerlendirilmesi açısından tekrar bir değerlendirme yapılmış ve aşağıda sunulmuştur.

D5, D30 ve D300 Bulgularının Birlikte Karşılaştırılması

Genel Sistem Karşılaştırma Bulguları

Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 Genel Sonucu

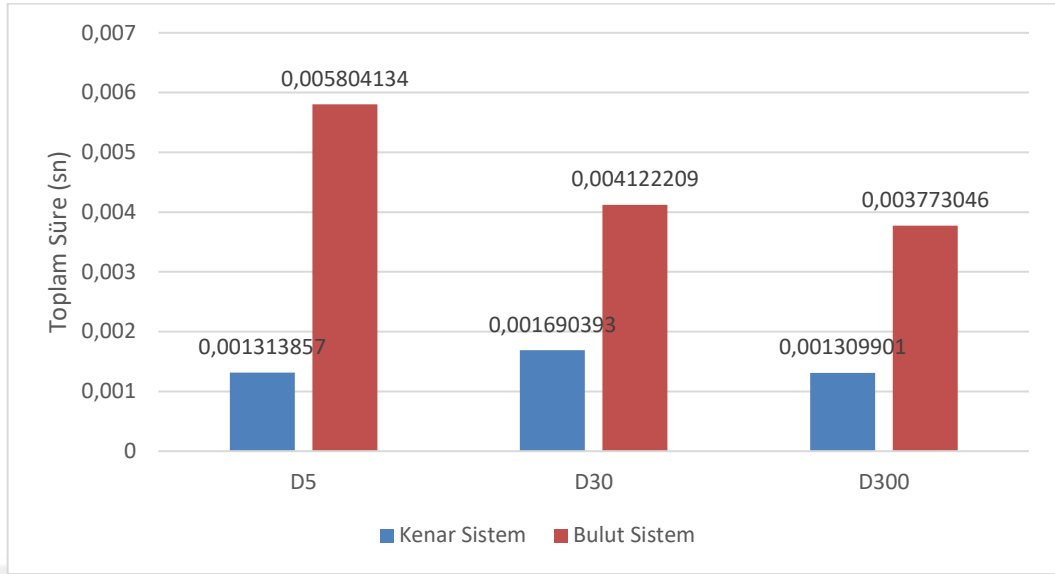


Şekil 43. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 genel sonucu

Her bir deneyin ayrıık olarak değerdendirmesindeki genel sonuçlar Şekil 43'te daha net biçimde görölmektedir.

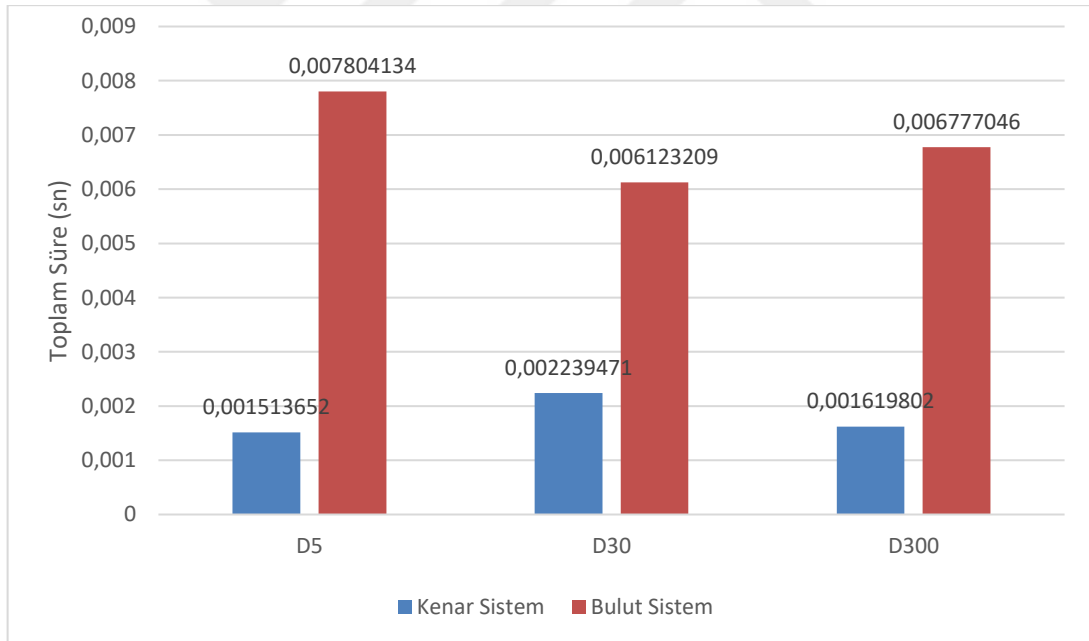
Veri miktarının artması ile Bulut Bilişim sisteminin performansının Kenar Bilişim sistemine göre daha iyi olduğı izlenmektedir. Donanımsal kaynaklar yönünden Bulut Bilişim sisteminden zayıf olan kenar sistemde aynı değerdendirmenin yapılması genel performansı etkilemiştir.

Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 Python Katmanına Ulaşım Sonucu



Şekil 44. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 python katmanına verinin ulaşım süreleri

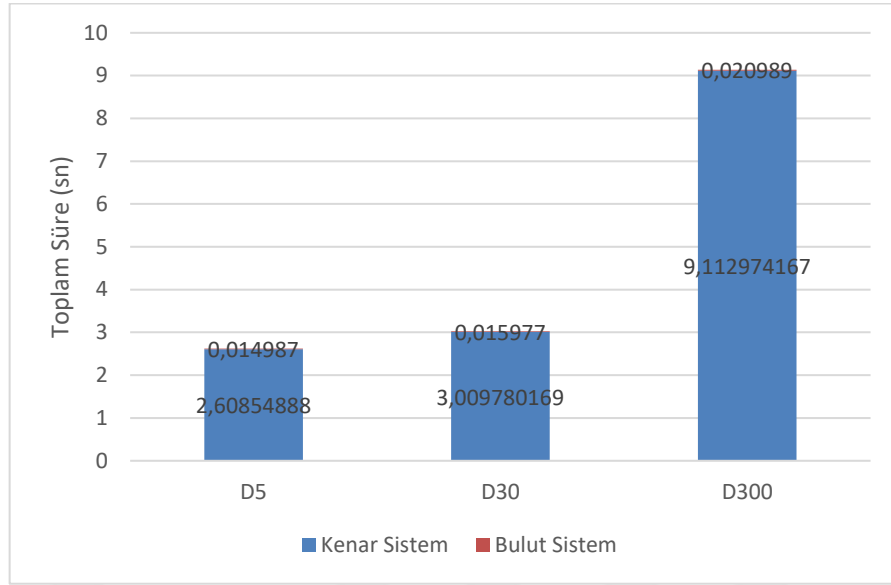
Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 Analiz Algoritmasına Ulaşım Sonucu



Şekil 45. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 için analiz algoritmasına ulaşım süreleri

Şekil 44 ve Şekil 45'te görüldüğü üzere Kenar Bilişim sisteminin Bulut Bilişim sistemine nazaran ara metriklerde işlemleri daha hızlı gerçekleştirdiği ve daha performanslı olduğu anlaşılmaktadır. Sun ve arkadaşlarının da yapmış olduğu çalışmada kenar hesaplamalar ile hizmet yanıt süresinin azaltılabileceği gösterilmiştir (Sun et al. 2018).

Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 Verinin Analiz Edilmesi Sonucu



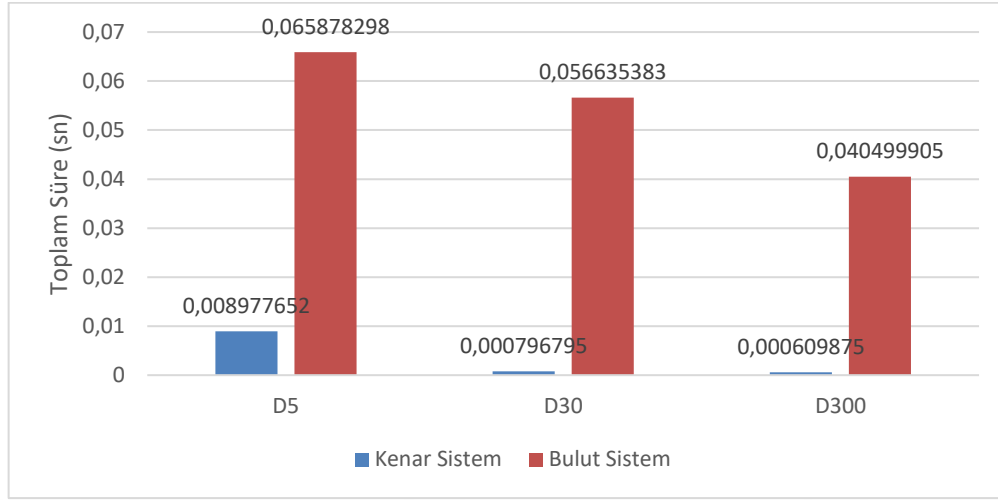
Şekil 46. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 verinin analiz süreleri

Sistemlerin genel performansını etkileyen en önemli aşama Şekil 46’da görülmektedir. Verinin analizi bulut sistem üzerinde kenar sisteme göre çok hızlı yapılmaktadır. Bu belirgin ve beklenen durum her ne kadar diğer metriklerde kenar sistem performanslı olsa da bulut sistemi daha verimli kılmaktadır. Kenar sistemin güçlendirilmesi ile olası diğer metriklerdeki avantajlar Kenar Bilişim sistemini daha efektif hale getirecektir.

Kenar cihazların donanımları bulut sunucuların donanımına göre daha zayıftır. Kenar sistem, analiz algoritması gibi karmaşık hesaplama içeren işlemlerde zorlanmaktadır. Kenar cihazlarda karmaşık işlemler yapmak kaynak sıkıntısından dolayı zor olmaktadır. Bulut sistem donanımı, karmaşık hesaplamaları sahip oldukları kaynaklar sayesinde daha kısa sürede yapabilmektedir.

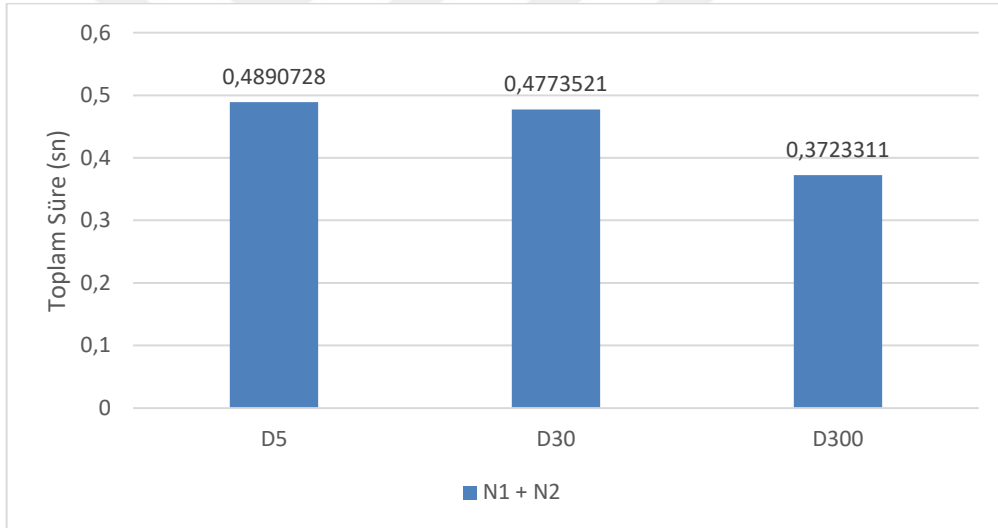
Yapılan D5, D30 ve D300 deneylerinde veri depolama süresi arttıkça değerlendirmeye alınan veri miktarı artmaktadır. Kenar sistem için veri miktarının artması analiz algoritması çalışma süresi ile doğru orantılı olmuştur. Veri miktarı arttıkça anomalilik tespit etme süreside artmaktadır. Şekil 43’te görüldüğü gibi kısa süreli dosya okumaları yapılması sayesinde kenar sistemde daha iyi performans sağlanmıştır. Bulut sistemde veri okuma süreleri birbirine çok yakındır. Bulut sistemin donanımı güçlü olduğu için değerlendirilen veri miktarı fazla olsa da çok bir fark oluşmamıştır.

Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 Analiz Sonucunun Sisteme Döndürülmesi



Şekil 47. Kenar ve Bulut Sistemleri D5, D30, D300 için sonucun sisteme dönme süreleri

D5, D30, D300 Ağ Gecikmesi Sonucu



Şekil 48. Kenar ve Bulut Sistemleri arasında D5, D30, D300 ağ gecikmesinin süresi

Bulut sistemin veri transferi için harcadığı süreler Şekil 47 ve Şekil 44'e bakıldığında kenar sistemden fazladır. Kenardan aldığı verileri alıp, geri döndürmek için ağ haberleşmesi yapması gerekmiştir. Ağ üzerinden yapılan iletimlerde de belli ağ gecikme süreleri meydana gelmektedir. Şekil 48'de bulut sistemin yapılan deneyler sonucu oluşan gecikme süreleri verilmiştir.

Kenar ve Bulut sistemi üzerinde yapılan değerlendirme sonuçlarının tamamı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kenar ve Bulut Sistemleri Değerlendirme Sonuçları

Kenar ve Bulut Sistemleri Genel Sonucu	D5	D30	D300
KB	2,618003705	3,012281643	9,116375951
BB	0,088669433	0,07873578	0,068265951
Kenar ve Bulut Sistemleri Python Katmanına Verinin Ulaşım Sonucu	D5	D30	D300
KB	0,001313857	0,001690393	0,001309901
BB	0,005804134	0,004122209	0,003773046
Kenar ve Bulut Sistemleri Verinin Analiz Algoritmasına Ulaşım Sonucu	D5	D30	D300
KB	0,001513652	0,002239471	0,001619802
BB	0,007804134	0,006123209	0,006777046
Kenar ve Bulut Sistemleri Verinin Analiz Edilmesi Sonucu	D5	D30	D300
KB	2,60854888	3,009780169	9,112974167
BB	0,014987	0,015977	0,020989
Kenar ve Bulut Sistemleri Analiz Sonucunun Sisteme Döndürülme Sonucu	D5	D30	D300
KB	0,008977652	0,000796795	0,000609875
BB	0,065878298	0,056635383	0,040499905
Bulut Sistemi Ağ Gecikmesi Sonucu	0,04890728	0,047735214	0,037233114

Tartışma

Bulut Bilişim sistemleri Kenar Bilişim sistemlerinden daha önce kullanılmaya başlanmış olup teknolojik sürecinde önemli biçimde evrilmiştir. Nesnelerin internet ağına dahil edilmesi, üretilen devasa verinin depolanması ve işlenip tekrar aktüatörlere geri döndürülmesi evresinin ilk aşaması Nesnelerin İnterneti + Bulut Bilişim ile gerçekleştirilmiştir.

Halen daha yoğun kullanıma sahip olan bu kombinasyon da ortaya çıkan güçlüklerin başında üretilen akan (stream) verinin kesintisiz ve kayıpsız bulut platformuna ulaştırılması gelmektedir. İletişim ağı üzerinden sağlanmakta olup her türlü olumsuzluk uçtaki sistemin başarımını etkilemektedir.

Her verinin buluta iletilmesi yerine yerinde değerlendirilip gerekli durumlarda buluta gönderimde bulunulması mevcut kombinasyona yeni bir eleman daha eklemiştir. Yeni durumda Nesnelerin İnterneti +Kenar+Bulut biçiminde üçlü bir yapı karşımıza çıkmıştır. Bu yapıda ise bu tez çalışmasındaki bulgulara da sunulan başka bir güçlük ile karşılaşmıştır. Kenarda kullanılan gömülü devrelerin donanımsal kapasiteleri yüksek işlem gücü gerektiren algoritmalar karşısında yetersiz kalmaktadır.

Nesnelerin İnterneti + Kenar + Bulut kombinasyonunun en verimli çalışabilmesi için;

Üretilen veri miktarı sınırları ne olmalıdır?

Kenar sistemlerin donanımsal gücü ne kadar olmalıdır?

Bulut sistemler yükün ne kadarını üstlenmelidir?

Bulut sistemlere ne kadar veri aktarılmalı ne kadarı kenarda işlenmelidir?

Kenar sistemler güçlendirilir ise bulut sistemler devreden çıkarılmalı mıdır?

Her üç bileşen birlikte kullanılacak ise bir optimizasyon yapılmalı mıdır?

Soruları yönlendirilmiş olup bu tez çalışmasında öncelikli olarak durumun deneysel tespiti yoluna gidilmesi kararlaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Kenar Bilişim sistemlerinin kaynağa yakın olması nedeniyle veri algılama, depolama, sisteme geri cevap dönme aşamalarının hızlı olacağı ancak donanımsal zayıflığı nedeniyle işlem gücü gerektiren karmaşık hesaplamalarda yavaş kalacağı Bulut Bilişimin ise hesaplamalarda hızlı olacağı ancak diğer aşamalarda yavaş kalacağı özellikle ağı gecikmelerinden etkileneceği hipotezi öne sürülerek araştırma yapılmıştır.

Araştırma bulguları öne sürülen hipotezi doğrulamış olup yukarıda belirtilen sorular sonraki çalışmalarda tartışmaya sunulmuştur.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Gelişen teknolojik ilerleyiş sürecinde dikkat çeken en önemli nokta veri miktarının üstel bir şekilde artışı olmuştur. Veri miktarındaki bu artış ile verilerin işlenmesi, depolanması, dağıtılması, veri kaynaklarının yönetimi, işlenmiş verinin tekrar sisteme yararlı biçimde geri beslenmesi üzerinde durulması gereken durumlardır. Nesneler ikiye ayrılarak değerlendirilebilir;

- Herhangi bir dijital bileşene sahip olmayan nesneler
- Dijital bileşene sahip olarak üretilen nesneler

İlk gruptaki nesnelere fiziksel öncelikli nesneler ismi verilmektedir. İkinci gruptaki nesnelere ise dijital öncelikli nesneler denilmektedir. Nesnelerin İnterneti kapsamında hali hazırda fiziksel öncelikli nesnelerin dijital bileşenler ile donatılarak izlenmesi, Endüstri 4.0 kapsamında diğer nesneler ile konuşturulması ve yönetilmesi gerekmektedir. Dijital öncelikli nesneler için yeniden donatılma işlemine gerek yoktur.

Nesnelerin İnterneti + Bulut Bilişim bileşenli yapılar mevcuttaki işleyiş için ilk etapta mükemmel bir uyum sağlamıştır. Bulut sistemlerinin hizmet çeşitliliği ve yükü arttıkça merkezileşmiş bu yapılar, büyük ağ trafiklerini yönetme güçlüğü ile yüz yüze kalmışlardır. Nesnelerin İnternetinin üstel veri üretmesi ve tüm verinin değerlendirmesini uzak sistemlerden beklemesi mevcut gelişmeleri de olumsuz etkilemiştir. Otonom bir araç ya da gökyüzündeki bir uçak algılayıcılardan elde ettiği devasa bilgiyi uzak sistemlere transfer edip tekrar onlardan alacağı komutları uygulamasının güçlükleri yeni bir çözüm arayışını ortaya koymuştur.

Veri neden bulutta değerlendirilmektedir?

Veri neden olduğu yerde değerlendirilmemektedir?

Bu arayış ikili yapıya yeni bir elemanın eklenmesi ile çözüm kapısını aralamıştır. Nesnelerin İnterneti + Kenar Bilişim + Bulut Bilişim üçlemesi buluta gönderilecek verinin otonom aracın bagajında veya gökyüzünde seyir halindeki uçağın içerisinde işlenmesine ve cevabın hemen geri döndürülmesine olanak tanımıştır. Her Nesnelerin İnterneti uygulaması yüksek kapasiteli işlem gücünü göğüsleyebilecek donanımsal kaynağa araba veya uçakta olduğu gibi sahip değildir. Gerçekleştirilen uygulamaların büyük çoğunluğu küçük kapasiteli gömülü devreler üzerinden yapılmaktadır. Nesnelerin İnterneti ile Bulut arasındaki ağ kaynaklı gecikmelerin oluşturabileceği güçlüklerin üstesinden gelebilmek için ağa bilgiyi en az ve en gerektiğinde gönderip kenarda işleyerek çözüm getirilmiş ise de bu sefer kenardaki işlem kapasitesi güçlüğü ile karşılaşmıştır.

Bu tez çalışmasında, Kenar Bilişim ve Bulut Bilişim sistemlerin hem genel hem de alt işlemlerine çeşitli metrikler tanımlanarak bir performans karşılaştırmasına gidilmiştir.

Fiziksel sistem olarak elektrik motoruna bağlı dişli ve kasnak yapısı olan fiziksel öncelikli bir nesne tercih edilmiştir. Fiziksel öncelikli bu nesne titreşim sensörü ve gömülü devre ile dijital hale getirilmek üzere donatılmıştır. Teorik olarak mekanik sistemlerin istenmeyen titreşimlerde çalıştırıldıklarında belli bir süre sonra bileşenlerinde gevşeme ve bunun akabinde de mekanik bozulmalara maruz kalacakları göz önünde bulundurularak titreşim verisinin değerlendirilmesi üzerine deney seti tertip edilmiştir.

Titreşim verileri etiketsiz veri sınıfında olup sistemin kararlılığı dışında gelişebilecek anormal durumlar için sezgisel algoritma sınıfında yer alan sınıflandırma ve anomali tespiti yapan LOF algoritmasında değerlendirilmiştir.

Değerlendirme işlemi hem Kenar Bilişim sisteminde hem de Bulut Bilişim sisteminde yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Algılayıcı verilerinin dinamik değerlendirilmesi sistemleri yoracağı ve üzerinde çalışılan sistem için kısa aralıklar ile elde edilmiş verilerin değerlendirilmesinin daha etkin olacağı düşüncesiyle 5 sn., 30 sn. ve 300 saniyelik periyotlarda veriler depolanmış sonra algoritmaya değerlendirilmek üzere gönderilmiştir. Bu işlemler yapılır iken depolama işleminin kenar sistemde ayrı, bulut sistemde ise ağ üzerinden gönderilerek ayrı depolanmasına dikkat edilmiştir. Kenar sistemde verilerin depolanıp bulut sisteme gönderilmesi tercih edilmemiştir. Bu durumda kenar sistemin depolama metriklerine bulut sistemin maruz kalması ve kısıt oluşturması söz konusu olacağı düşünülmüştür.

Tartışma kısmında da belirtildiği üzere “Kenar Bilişim sistemlerinin kaynağa yakın olması nedeniyle veri algılama, depolama, sisteme geri cevap verme aşamalarının hızlı olacağı ancak donanımsal zayıflığı nedeniyle işlem gücü gerektiren karmaşık hesaplamalarda yavaş kalacağı Bulut Bilişimin ise hesaplamalarda hızlı olacağı ancak diğer aşamalarda yavaş kalacağı özellikle ağ gecikmelerinden etkileneceği hipotezi öne sürülerek araştırma yapılmıştır.” Değerlendirmelerin üç farklı deney şartları için benzer sonuçlar vermesi öne sürülen savı doğrulamıştır.

Veri setindeki çok değişkenli verilere, sistemin verileri anlamlandırması için sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi yapılırken çok değişkenli verilerde kullanılan aykırılık tespit yönteminden faydalanılmıştır. Çok değişkenli verilerde aykırılık tespitinin önemi oldukça büyüktür. Sistemin anormal durumunun tespit edilmesi aslında belirli bir çerçevede olağandışı olayları saptamaktır. Toplanan veriler aykırı durum tespit yönteminde değerlendirilmiştir.

Aykırı durum tespiti yapılırken yerel aykırı faktör tespit algoritmasından faydalanılmıştır. Yerel aykırı faktör algoritması, veri seti kümesinde her bir gözlem (veri) için bir Yerel Aykırılık Değeri (LOF) hesaplamaktadır. Veri seti kümesindeki her veri için başlangıçta belirlenen k adet komşu ile aralarındaki mesafeler hesaplanmaktadır. Sırasıyla k-mesafesi, erişilebilirlik mesafesi ve yerel erişilebilirlik yoğunluğu değerleri hesaplanıp veriler için Yerel Aykırılık Değeri (LOF) bulunur. Bulunan değerler büyükten küçüğe doğru sıralanıp içinden belli eşik sayısındaki en küçük değerler aykırı veri olarak değerlendirilir. Sonuçta elde edilen aykırı veri sayısı değerlendirilip sistemin kenar cihaza geri dönüşü yapılmaktadır.

Sistemlerin her ikisi için uçtan uca performans değerlendirmesinde Bulut Bilişim sistemi değerleri daha iyi çıkmıştır. Deney tasarımı yapılırken daha etkin bir araştırma sonucu elde etmek için genel değerlendirme alt parçalara ayrılmış ve çeşitli aşamalar için metrikler tanımlanmıştır.

- Fiziksel sistemden verilerin algılanması ve gömülü sisteme oradan da python betik katmanı sonra da analiz algoritmasına aktarılmasında Kenar Bilişim sistemi daha performanslı çıkmış olup buradaki farklılığı Kenar Bilişim sistemi ile Bulut Bilişim sistemi arasındaki ağ bağlantısının oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu yönüyle kaynağından verinin bulut sisteme aktarımı hususundaki gecikmeler doğrulanmış ve kenar sistemin avantajı ortaya konulmuştur.
- Her iki sistemin analiz algoritmasına ulaşan verilerin analiz edilmesi işleminde Bulut Bilişim sistemi açık bir şekilde yüksek performans göstererek genel performansı etkileyen bir durum oluşturmuştur. Önsavda ileri sürülen ve beklenen bu durum bulut sistemin donanımsal gücünden kaynaklanmıştır. Karmaşık işlemler ve hesaplama gücü gerektiren durumlarda Bulut Bilişim sistemi üstünlüğünü göstermiştir.

Analiz neticesinin fiziksel sisteme geri döndürülmesi aşamalarında ise yine Kenar Bilişim sistemi performans üstünlüğü göstermiş ve buradaki farklılığın bir kısmı cevap geri döndürülürken Bulut Bilişimin ağ bağlantısını kullanmak zorunda olmasından kaynaklanmıştır.

Deneysel çalışma Nesnelerin İnterneti + Kenar Bilişim + Bulut Bilişim kombinasyonunun ne yönde geliştirilmesi gerektiği hususunda bir gösterge niteliğindedir.

- Kenar sistemler güçlendirilmeli midir yoksa ağ teknolojileri hızlandırma yönünden geliştirilmeli midir? araştırmasına soru teşkil etmiştir.

Sonraki çalışmalarda tartışma kısmında belirtilen sorulara cevap aranmalıdır. Farklı deneysel çalışmalar farklı ağ medyaları üzerinde yapılmalıdır. Heterojen Kenar Bilişim sistemleri için minimum işlem gücü gereksinimi üzerinde durulmalı, yeni nesil Nesnelerin İnterneti çalışmalarında kenar gücü için bir standart belirlenmelidir. Belirlenecek değerler ağ teknolojileri ve bulut işlem gücü de hesaba katılarak çeşitli mimariler biçimine getirilmeli ve uygulamalarda tercihe bırakılmalıdır. Bu hususlarda yapılacak optimizasyon çalışmaları genişletilmeli deneysel çalışmalar ile desteklenmelidir.



KAYNAKÇA

- Abuzaid, A., 2020. Identifying density-based local outliers in medical multivariate circular data. *Statistics in Medicine*, 39, 21.
- Ahmed, E., Rehmani, M., 2017. *Mobile edge computing: opportunities, solutions, and challenges*. Elsevier.
- Aktaş, İ., 2020. <https://blog.bosch-si.com/bosch-iot-suite/cloud-and-edge-computing-for-iot-a-short-history>, (06.2020).
- Alshawabkeh, Malak, Jang, B., and Kaeli, D., 2010. Accelerating the local outlier factor algorithm on a GPU for intrusion detection systems. *GPGPU-3*.
- Anonim, 2019. <https://blog.isimtescil.net/nedir-bu-nesnelerin-interneti>.
- Anonim, 2020. <https://www.veribilimiokulu.com/blog/local-outlier-factor-ile-anormallik-tespiti>, 2021.
- Anonymous, 2019. <https://www.xtrlarge.com/2019/08/07/bulut-bilisim-turk-sirket-bt-yatirim/>, (09.2020).
- Anonymous, <https://www.alibabacloud.com/knowledge/what-is-edge-computing>, 05.2020)
- Anonymous, 2020. <https://solarbotics.com/product/35005/>, (09.2020)
- Anonymous, 2020. https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/neighbors/plot_lof_outlier_detection.html#sphx-glr-auto-examples-neighbors-plot-lof-outlier-detection-py, (10.2020)
- Antonini, M., Vecchio, M., Antonelli, F., Ducange P. and Perera, C., 2018. Smart Audio Sensors in the Internet of Things Edge for Anomaly Detection. in *IEEE Access*, 6, 67594-67610.
- Ashton, K., 2009. That 'internet of things' thing K Ashton. *RFID journal*.
- Bhatt, Vishal & Dhakar, Mradul & Chaurasia, Brijesh, 2016. Filtered Clustering Based on Local Outlier Factor in Data Mining. *International Journal of Database Theory and Application*, 9, 275-282.
- Bittencourt, L., Immich, R., Sakellariou, R., Fonseca, N., 2018. The internet of things, fog and cloud continuum: Integration and challenges . *Internet of Things*, Elsevier.
- Breunig, M. M., Kriegel, H.P., Ng, R.T. i Sander, J., 2000. LOF: Identifying Density-based Local Outliers. *Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 93–104.
- Candanedo, I., S., Alonso, R., S., Corchado, J., M., Rodríguez-González, S., Casado-Vara, R., 2019. A review of edge computing reference architectures and a new global edge proposal. *Future Generation Computer Systems*, 99, 278-294.
- Chen, B., Wan, J., Celesti, A., Li, D., Abbas H., and Zhang, Q., 2018. Edge Computing in IoT-Based Manufacturing. *IEEE Communications Magazine*, 56, 9, 103-109.
- Elbamby, M., S., Bennis, M., and Saad, W., 2017. Proactive edge computing in latency-constrained fog networks. 2017 *European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Oulu, 1-6.
- Eyüboğlu, M., <https://ioturkiye.com/2021/01/edge-computing-ve-veri-gecikmesinin-azaltilmasi/>, 22.09.2020.
- Faerman, VA., Tsavnin, AV., 2021. Implementation of vibration signals receiving unit on raspberry single-board computers . *IOP Conference Series*.

- Gözüm, E.,08. 2020. <https://istanbulbogazicienstitu.com/nesnelerin-interneti-nedir/>, (09.2020).
- Genç, A.,10. 2019.<https://medium.com/@ahmetxgenc/bulut-hizmet-modelleri-4ec4c79309f5>,(05.2020).
- Kempen, A., V., Crivat, T., Trubert, B., 2017. MEC-ConPaaS: An experimental single-board based mobile edge cloud . 5th IEEE.
- Khan, WZ., Ahmed, E., Hakak, S., Yaqoob, I., 2019. Edge computing: A survey. Future Generation.
- Koduru, A., Brihadh, M., Jayanth, R.K., Chandana, N. S., Kiran, K. T., Kiran, G. V., Reddy, M.P.T., 2020.Geographic anomaly detection using IOT principles. Materials Today: Proceedings.
- Li, E., Zeng, L., Zhou, Z., Chen,X.,2019. Edge AI: On-demand accelerating deep neural network inference via edge computing. IEEE Transactions on Wireless.
- Mell, P., Grance, T., et al., 2011.The nist definition of cloud computing, NIST Special Publication, 800-145
- Mishra, S., and Chawla, M., 2019. A comparative study of local outlier factor algorithms for outliers detection in data streams. Emerging Technologies in Data Mining and Information Security, Singapore: Springer, 347-356.
- Moghe, U., Lakkadwala, P., 2012. Cloud computing: Survey of different utilization techniques. CSI Sixth .
- Mohan. N., and Kangasharju, J., 2016. Edge-Fog cloud: A distributed cloud for Internet of Things computations. Cloudification of the Internet of Things (CIoT), Paris, 1-6.
- Mudaliar, M. D., Sivakumar, N., 2020. IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi. Internet of Things, 12.
- Noble, BD., Satyanarayanan, M., Narayanan, D., 1997. Agile application-aware adaptation for mobility. ACM SIGOPS.
- Petrolo, R., Morabito, R., Loscri, V., Mitton, N., 2017 . The design of the gateway for the cloud of things. Annals of Telecommunications, Springer.
- Rajkumar, B., Satish, N. S., 2019a. Internet of Things and New Computing Paradigms. Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms, Zomaya, A.Y. Wiley, USA,3-21.
- Rajkumar, B., Satish, N.S., 2019b. Addressing the Challenges in Federating Edge Resources. Fog and Edge Computing: Principles and Paradigms, Zomaya, A.Y. Wiley, USA, 25-45.
- Rehman, MH., Yaqoob, I., Salah, K., Imran, M., 2019. The role of big data analytics in industrial Internet of Things. Future Generation.
- Satyanarayanan, M., 2001.Pervasive computing: vision and challenges. IEEE Personal Communications, 8, 4, 10-17.
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres, R. and Davies, N., 2009.The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing. IEEE Pervasive Computing,8, 4, 14-23.
- Schneible, J. and Lu, A., 2017.Anomaly detection on the edge. IEEE(MILCOM), Baltimore, MD, 678-682.
- Shi,W., Cao, J., Zhang, Q., Li, L., Xu, L., 2016. Edge computing: Vision and challenges. IEEE internet of things.
- Spencer, S.,04.2018, <https://searchitchannel.techtarget.com/definition/cloud-service-provider-cloud-provider>,09.2020

- Sumanth, R., and Bhanu, K. N. 2020. "Raspberry Pi Based Intrusion Detection System Using K-Means Clustering Algorithm. Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India, 221-229.
- Sun, G., Li, Y., Li, Y., Liao, D., Chang, V., 2018. Low-latency orchestration for workflow-oriented service function chain in edge computing. *Future Generation Computer Systems*.
- Taleb, T., Samdanis, K., Mada, B., Flinck, H., Dutta, S., and Sabella, D., 2017. On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19, 3.
- Verma, A., Goyal, A., Kumara, S., Kurfess, T., 2021. Edge-cloud computing performance benchmarking for IoT based machinery vibration monitoring. *Manufacturing Letters*, 27, 39-41.
- Vincenzo, S., Aral, A., Brandic, I., Nicola, R.D., and Uriarte, B. R., 2018. Scheduling Latency-Sensitive Applications in Edge Computing. 8th International Conference on Cloud Computing and Services Science.
- Yrjanainen, J., Ni, X., Adhikari, B., and Huttunen, H., 2020. Privacy-Aware Edge Computing System for People Tracking. *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2096-2100.
- Yang, S., Gong, Z., Ye, K., Wei, Y., Huang, Z., Huang, Z., 2019. EdgeCNN: Convolutional neural network classification model with small inputs for edge computing. *arXiv*.
- Yongzhao, X., Nascimento, N. M., Pedro, H., Sousa, F., Nogueira, F., Torrico, B. C., Han, T., Jia, C., Filho, P.P., 2021. Multi-sensor edge computing architecture for identification of failures short-circuits in wind turbine generators. *Applied Soft Computing*, 101.
- Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., Kong, J., Jue, J.P., 2019. All one needs to know about fog computing and related edge computing paradigms: A complete survey. *Journal of Systems Architecture*, 98, Pages 289-330.
- Wang, D., Yeung, D.S., and Tsang, E., C., C., 2006. Structured one-class classification. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B Cybern.*, 36, 6, 1283-1295.
- Wang, S., Tour, T., Salonidis, T., Kin, K. L., Makaya C., He, T., Chan, K., 2019. Adaptive Federated Learning in Resource Constrained Edge Computing Systems. in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 37, 6, 1205-1221.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	İklim Rabia ÖĞDÜM
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	Türkiye Cumhuriyeti
Eğitim	
Lisans:	Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	: İyi