



Sis Hesaplama da Sis Düğümlerinin Rolü ve Mimari Yapısı

Fatih Topalođlu^{1*}

^{1*} Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Dođa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliđi Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2089-5214), fatih.topaloglu@ozal.edu.tr

(International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT) 2021 – 21-23 October 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1018653)

ATIF/REFERENCE: Topalođlu, F. (2021). Sis Hesaplama da Sis Düğümlerinin Rolü ve Mimari Yapısı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (29), 317-322.

Öz

Sis hesaplama, IoT uç cihazlar ve bulut arasındaki katmanda cihaz üstünde gerçekleşen bilişimi ifade eder. Sis bilişimin temelinde sis düğümleri yatar. Sis düğümleri coğrafi olarak dağınık durumda bulunan, zengin kaynaklı, ağın herhangi bir yerine konumlandırılabilir cihazlardır. Sis düğümleri, yönetimi basitleştiren, güç ve alan gereksinimlerini azaltan birleştirilmiş bilgi işlem, ađ ve depolama alanına sahiptir. Bununla birlikte, sis hesaplama hala emekleme aşamasındadır ve hala açık problemler vardır. IoT uygulamalarında ađ geçidi ve uç düğümler, uçta gerçek zamanlı analiz gerektiren işlemlerde, verilerin sıkıştırılması işleminde ve bulut ile iletişimde meydana gelen gecikme için yetersiz kalmaktadır. Makalede, sis hesaplama da sis düğümlerinin rolü ve sis düğüm mimarisine odaklanarak bu problemlerin çözümü için detaylı analizler ve çözüm önerileri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sis hesaplama, IoT, Sis düğümleri, Sis düğüm mimarisi.

The Role and Architecture of Fog Nodes in Fog Computing

Abstract

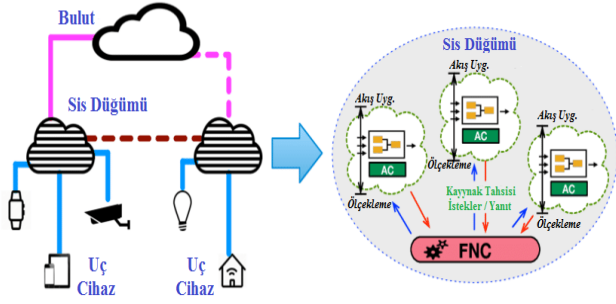
Fog computing refers to on-device computing at the layer between IoT edge devices and the cloud. Fog nodes are the basis of fog computing. Fog nodes are geographically dispersed, resource-rich devices that can be located anywhere in the network. Fog nodes have unified compute, network and storage that simplifies management and reduces power and space requirements. However, fog computing is still in its infancy and there are still open problems. In IoT applications, gateway and edge nodes are insufficient for latency in operations that require real-time analysis at the edge, compression of data, and communication with the cloud. In the article, the role of fog nodes in fog computing and focusing on fog node architecture, detailed analyzes and solution proposals for the solution of these problems are presented.

Keywords: Fog computing, IoT, Fog nodes, Fog node architecture.

* Sorumlu Yazar: fatih.topaloglu@ozal.edu.tr

1. Giriş

Sis bilişim, bulut ve IoT uç cihazları arasında “sis katmanı” da denilen orta bir katmanda olup cihaz üstünde gerçekleşen işlevi anlatmak için Cisco tarafından ortaya atılan bir terimdir. Sis düğümlerinin ağda üstleneceği görevlerin neler olacağına dair tartışmalar sürmekte olsa da temel olarak IoT cihazlarından gerçek zamanlı veri almak ve gerçek zamanlı analiz gerçekleştirilmesi, sorgulara milisaniye düzeyinde yanıt vermesi, verinin buluta aktarılana kadar geçici olarak depolayabilmesi, veri analizlerinin belirli periyotlarla buluta göndermesi ve ağda dağıtık durumdaki cihazlara buluttan uygulama kurabilmesi beklenmektedir. Sis hesaplamasının veri akışı işleme (Assuncao, Da Silva Veith, & Buyya, 2018), IoT’da gizliliği koruma (Lu, Heung, Lashkari, & Ghorbani, 2017), IoT verilerinin analizini gerçekleştirme (Arkian, Diyanat, & Pourkhalili, 2017), çevrim içi depolama (Lujic, De Maio, & Brandic, 2017) ve diğer bazı işlemleri (Karagiannis et al., 2019) gerçekleştirebildiği görülmüştür.



Şekil 1. Sis bilişim mimarisi

Uç ve bulut bilişim uygulamaları Şekil 1'deki gibi bazen sis düğümü gibi ekstra bir desteğe ihtiyaç duymaktadır. Bulut bilişim, verilerin ağ üzerinden taşınması, düzenlenmesi ve güvenlik protokollerinin uygulanması işlemlerini IoT ağ geçitlerindeki işlem düğümleri kullanarak hesaplamaları dağıtarak, darboğazları önler ve iletişim gecikmesini engeller (Karagiannis, 2019). Uç düğümler, birçok farklı iletişim protokolüne sahip IoT cihazlarından bulut bilişim tarafından kullanılacak veri oluşturmaktadır. Sorun şu ki, ağ geçitleri ve uç düğümler, yüz tanıma sistemi gibi uçta gerçek zamanlı analiz gerektiren IoT uygulamaları için artık yeterli değildir.

Sis düğümü, bu soruna mimari bir yanıttır, bulut ve uç tartışmasında ölçekleri kenar lehine çevirebilen kenar mimarisine bir ektir. Sis düğümü, basit uç düğümlerin mesajlaşma ve yönlendirme işlevlerinin ötesinde, gerçek zamanlı analitik işlemeyi IoT'a getiren fiziksel bir sunucudur. Kaynakların uca bu şekilde genişletilmesi, IoT'yi büyük ölçüde güçlendirir. Bu, IoT ortamını çok daha verimli ve duyarlı hale getirmektedir. Sis düğümleri, ilke olarak, IoT dağıtımını kendi kendine yeterli hale getirebilir.

Çalışmanın geri kalan kısmı aşağıdaki gibi organize edilmiştir. İkinci bölümünde Sis düğümleri ve mimari özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde Ağ biriminin, dördüncü bölümde hızlandırıcı birimin, beşinci bölümde hesaplama biriminin, Altıncı bölümde depolama biriminin sis hesaplamadaki rolü gerçek dünya problemleri göz önüne alınarak analiz edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Son bölümde çalışma özetlenmiştir.

2. Motivasyon

Sensör verisi dağıtımını için ek yazılım bileşenleri, depolama ve analitik, genellikle bulut sağlayıcıları tarafından hizmet olarak sunulur (Gubbi, Buyya, Marusic, Palaniswami, 2013). Ancak bulut bilişim, özellikle gecikme ve gizliliğe duyarlı uygulamalar için bu hizmetleri IoT bağlamında sunmak için her zaman en uygun seçenek değildir (Zhang et al., 2015). Tüm verileri bulut sunucuları aracılığıyla zorlamak yerine muhtemelen uzakta bulunan sis bilişimi, bu hizmetlerden bazılarını ağı kenarına taşımaya önermektedir (Bonomi, Milito, Zhu, & Addepalli, 2012). Sis hesaplama ağında, son kullanıcı taleplerini düşük gecikmeyle karşılamak için sis düğümleri ağ ucuna yerleştirilerek yeni uygulamalara olanak sağlar. Bir sis hesaplama ağına bir düğüm konulmadan önce, aşağıdaki bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır:



Şekil 2. Sis düğüm mimarisi

Düğüm güvenliği, sis hesaplamada genel güvenliğin temelidir. Arabirimler ağ, depolama ve hesaplama için koruma seçeneklerini barındırır. Sis düğümü, sis hesaplama işlemlerinde bir ağ geçidi görevi görmesinden dolayı sistemde güvenlik ağ geçidi görevi de görmektedir. Düğüm güvenliği sis düğüm mimarisinde hem dikey hem de yatay bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Düğüm güvenliği, uygulama ve proje geliştirici mühendislerin donanım tasarımından (silikon üretimi, cip tasarımı) yazılım mimarisi tasarımına kadar göz önünde bulundurması gereken önemli bir kavramdır.

Düğüm yönetiminde ise, sis hesaplama işleminde yönetim arabirimlerinin desteklenmesi gerekmektedir. Yönetim arabirimleri, sis hesaplama hiyerarşisinde yüksek seviyeli yönetim mekanizmalarının en düşük seviyedeki düğümleri görmesini ve kontrol etmesini sağlamaktadır. Birbirinden farklı fiziksel arabirimlerde aynı yönetim tekniği kullanılabilir.

Sis mimarisinde bir düğümün veri depolama yeteneğine sahip olması düğümün otonom bir öğrenme yapabilmesini sağlar. Düğüme eklenen depolama aygıtların sis hesaplama sistemi için gerekli olan güvenlik, performans ve veri bütünlüğünü sağlarken diğer taraftan kendini optimize edebilme ve kimlik tabanlı işlemleri yerine getirebilmelidir. IoT sistemindeki en uç yani en alt seviyedeki cihazlar sensör ve aktüatörlerdir. Sis hesaplama sistemindeki tek bir düğüm hem hesaplama işlemini sağlayan hemde hesaplama sürecine dahil olmayan bir çok cihazla kablolu veya kablosuz bağlantılı olabilmektedir.

Mimarideki soyutlama katmanı, cihaz verilerinin analizinin hesaplama sisteminde kullanılması bu işlevi gerçekleştiren sis düğümlerinin kontrolünü mümkün kılmaktadır. Bu katman hesaplama görevini yapan sis düğümlerini ve IoT cihazlarının çok bileşenli ağ ve servis sunucular için birlikte çalışma imkanını sunmaktadır.

3. Ağ Birimi ve Hesaplama Rolü

Ağlar, veri işleminin gerektirdiği ölçeklenebilirlik, kullanılabilirlik ve esneklik özelliklerini sağlamalıdır. Ayrıca, kritik veya gecikmeye duyarlı verileri önceliklendirmek ve veri iletimini garanti etmek için gereken servis kalitesini sağlamalıdır. Sis düğümünün bağlantı ve iletişim gereksinimleri açısından çeşitli ağ unsurları şunlardır:

Kablolu Bağlantı, sis hesaplama mimarisinde bağlantı yapısı ve seçimi düğümün yeri ve görevine göre değişir. Bir fabrika

içinde elde edilen verilerin depolanması ve analizi için kablolu ağ tercih edilirken, daha dağınık sistemlerde araç, insan ve cihaz konumlarını depolamak ve işlemek için kablosuz bağlantı tercih edilmektedir. IoT cihazlarını, aktüatörleri, sensörleri sis düğümüne bağlamanın bir çok standart ve platformu vardır. Sis hesaplama düğümü bir fabrikadaki üretim mekanizmasında, alt katman uygulamaları ve cihazları ile iletişim kurmak için bir kontrolör alan ağı veri yolunu veya diğer fieldbus standartlarını desteklemek için gerekli ve faydalı olabilir.

Kablosuz Bağlantı, özellikle IoT uygulamalarında proje ve uygulama geliştirici mühendisler için önemli bir bağlantıdır. Bir çok standart ve protokolle gelen kablosuz bağlantı sis hesaplama mimarisinde esneklik ve verimlilik sağlamaktadır. Kablosuz bağlantı yapısının kalitesi erişilebilirlik ve kullanılabilirlik, çevresel etmenler, esneklik, mobilize özellik, güç seçenekleri gibi bir çok etmene bağlıdır.

Tablo 1. Sis düğümün gereksinim duyacağı standartlar.

Kablosuz WAN (WWAN)	Kablosuz LAN (WLAN)	Kablosuz Kişisel Alan Ağları (WPAN)
3G, 4G LTE ve 5G hücreli teknolojiler için yüksek veri aktarım hızları	Yüksek kapasite, yoğunluk ve veri aktarım hızları	Bluetooth: Kısa menzilli iletişim
Sensör veya bulut için hücreli teknolojileri desteklemek	IoT kullanımları için yüksek kapasite, yoğunluk ve hız gereksinimi	Kızılötesi (IR): IR ışık dalgaları üzerinden kablosuz iletişim hattı
Dar Bant IoT (NB-IoT), geniş kapsama alanı ve düşük güç tüketimi	Sis kablosuz ağ için Li-Fi boş alan optik iletişim	ZigBee: Düşük güç tüketimi, kısa menzil ve düşük veri aktarım hızları
LPWAN düşük maliyet ve yüksek güç verimliliği		Z-Wave: Bina ve ev otomasyonunda en çok kullanılan RF sinyali ve kontrolü
		Düşük Hız WPAN, WLAN kullanımı

Kablosuz bağlantı, sis hesaplama düğümüne işleneceği düğümüne veya sensörlere verilerin aktarımını sağlar. Hesaplama düğüm yetenekleri arttıkça mimarideki yüksek düzeyde veri aktarımı, analizi ve güvenli iletişim imkanı sunacaktır. Sis hesaplama kablosuz bağlantı sensör ile sis düğümü, sis düğümü ile sis düğümü ve sis düğümü ile bulut için geçerli olacaktır. Tablo 1'de üç alanda gruplandırılan kablosuz bağlantının gerekli olabileceği durumlar gösterilmiştir.

Ağ Yönetimi, uygulamadaki veri kaynaklarının ve cihazlarının sayısı arttıkça, cihazların, düğümlerin ve kaynakların yönetim işlemide dahada önem arz edecektir. Sis düğümlerinin, ağ yönetimi tarafından desteklenebilmesi, cihazların, güvenliğin ve düğümün optimize edilmesine ve ağdaki değişken durumlara adaptasyon sağlamasını kolaylaştıracaktır. Sis hesaplama mimarisindeki cihazları, düğümleri, kaynakları ve ağ cihazlarını yönetmek düğümüne bilgi sağlamak, ilişkisel ağları yönetmek, güvenli çalışmak için kullanılacak protokoller ve platformlar bağlantı seçenekleri ve bellek kaynaklarına göre değişmektedir.

Ağ Güvenliği, Tablo 2'de ağ tabanlı güvenlik tehditleri ve çözümü için en çok kullanılan tekniklerden bazıları sunulmuştur. Sis düğümleri her zaman Tablo 2'de belirtilen bu tür saldırı ve tehditlere karşı koruma sağlayamayabilir. Ancak ağın veya sis mimarisindeki cihazların, kaynakların ve düğümlerin korunmasına katkı sağlayacaktır.

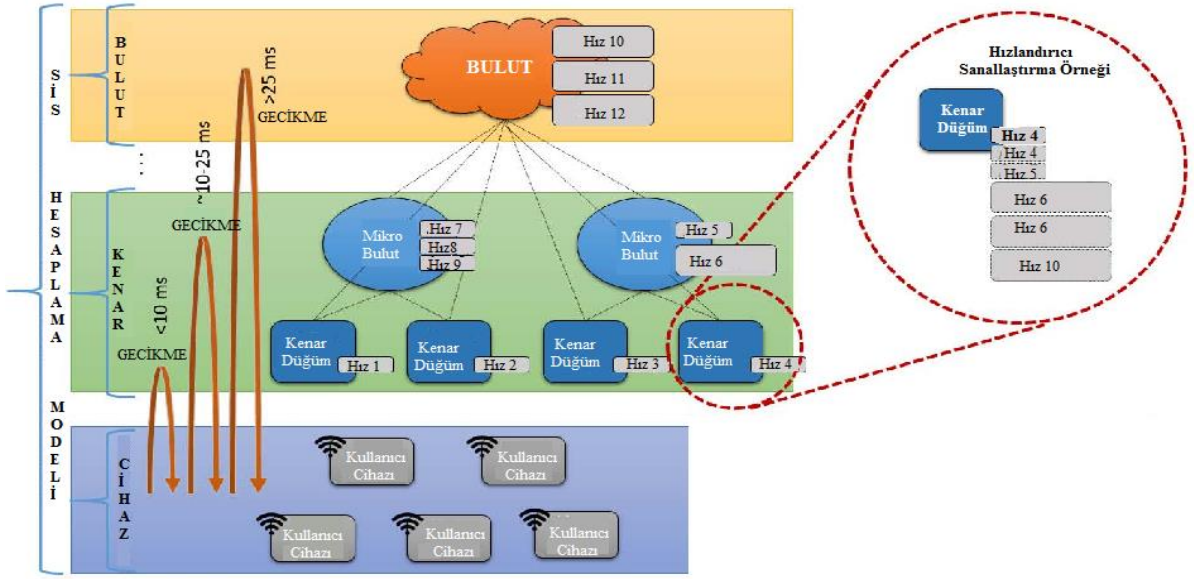
Tablo 2. Ağ tabanlı güvenlik tehditleri

Sis Düğümü için ağ tabanlı güvenlik tehditleri	Sis Düğümünün korunması için ağ aygıtları
Hizmet Reddi saldırıları	Yetkisiz erişimi engellemek için güvenlik duvarları.
İhlal	İzinsiz Giriş Önleme Sistemleri
DNS sahteciliği	Sanal Özel Ağlar kullanarak Güvenli Uzaktan Erişim
ARP kimlik sahtekarlığı veya zehirlenmesi	Davranış tabanlı anomali algılama cihazları veya yazılımı

Ağa bağlı IoT cihazlarını kullanan önemli DoS saldırıları, sis tabanlı ağ güvenliği kullanılarak çok daha hızlı tespit edilebilir ve potansiyel olarak azaltılabilir.

4. Hızlandırıcı Birimi ve Hesaplama Rolü

Sis hesaplama, gelişmiş analiz yapan sis düğümleri sunucu ve kurumsal işlemci yongalarına ilaveten mevcutta kullanılan işlemcilere ek işlemci verimliliği gerektirir. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla ek hesaplama işlem hacmi sağlamak için hızlandırıcı modülleri işlemci modülleri ile birlikte yapılandırılması gerekmektedir.



Şekil 3. Hızlandırıcıları kullanan çok katmanlı bir sis hesaplama modeli

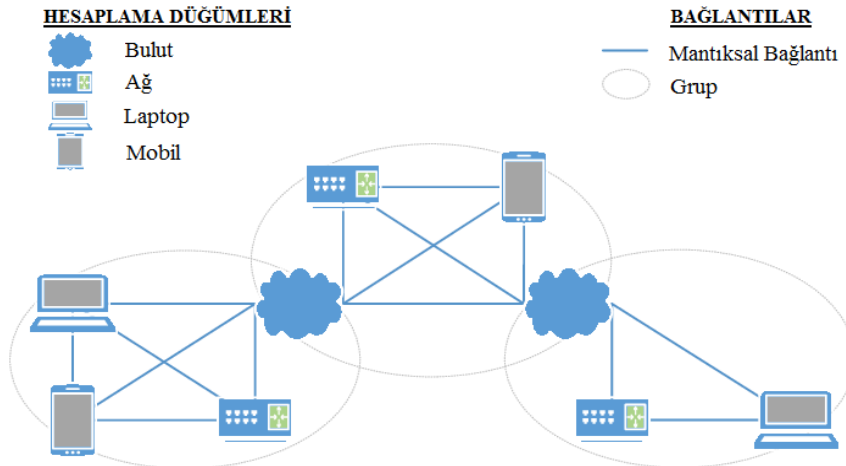
Tablo 3'de sis düğümlerinde hesaplama işlemlerinde kullanılan bazı hızlandırıcı modül örnekleri verilmiştir.

Tablo 3. Hızlandırıcı modül örnekleri

Hızlandırıcı Modüller	Hesaplama Etkileri
Grafik İşlem Birimi	Uygulamalar için önemli bir güç desteği ve yerden tasarruf sağlayabilirler
Programlanabilir Kapı Dizileri	Sorunları verimli bir şekilde çözmek için özel mantık tasarımlarıyla yapılandırılabilirler. Konumlarına göre diğer hızlandırıcılarla karşılaştırıldığında daha az güç ve daha düşük düzeyde bilgi gerektirebilir
DSP İşlemciler	Genel amaçlıdır, bazıları video sıkıştırma ve manipülasyon gibi özel işlevler için tasarlanmıştır.

5. Hesaplama Birimi ve Sis Hesaplama Rolü

Sis hesaplama işlemi, sis düğümleri için ağda İot uygulamalarının geliştirilmesini sis bilgi işlem yazılımlarını veya diğer araçları kullanarak gerçekleştirir. Ağın ucunda bulunan düğümler uç cihazlardan elde edilen verileri analiz için en uygun konuma aktarır. Yöneticiler hangi verilerin zamana en duyarlı olduğunu sis ve bulut hesaplama ağlarını birbirine bağlarken değerlendireceklerdir. Zamana duyarlı veriler, hesaplama düğümlerinden oluşan sis ağının içinde elde edildikleri yere en yakın yerde analiz edilmelidir. Daha sonra analiz edilmek üzere daha uzun süre bekleyebilecek veriler bir toplama düğümlerine iletilir. Sis hesaplama birimi, her bir veri türünün, veri türüne ve kullanıcının acil ihtiyaçlarına bağlı olarak, hangi sis düğümünün analiz için ideal konum olduğunu belirlediği birimdir.



Şekil 4. Hesaplama düğümlerinden oluşan sis ağı

Hesaplama fonksiyonu sis düğümleri için birçok gereksinimi içerir. Bazı sis düğümü tasarımlarında, güvenin donanım kökü işlemci kompleksinin içinde bulunur ve kodun doğrulanması yalnızca işlemci imzayı doğruladıktan sonra gerçekleşir. Her işlemciyi ilişkili hızlandırıcılara, depolamaya ve ağ çevre birimlerine bağlamak için yüksek performanslı I/O alt sistemleri gereklidir. Geniş sanal bellek alanını yönetmek, platformu uygulama alanından yalıtılmak ve uygulamaları çok kiracılı ortamlarda birbirinden yalıtılmak için siste bellek yönetim birimleri gerekebilir. Bazı çok kiracılı kurulumlar, tüm çekirdekleri en kritik uygulamalarının her birine ayıracaktır.

6. Depolama Birimi ve Hesaplama Rolü

Sis hesaplamada yer alan sis düğümlerinde birçok depolama türü vardır. Sis hesaplama, verileri mimarideki hiyerarşi boyunca toplayıp işlerken bulut teknolojisinde yalnızca veri merkezlerinde görülen veri depolama katmanlarının, sis hesaplamada düğümlerde olduğu görülmektedir. Sis düğümlerinde bulunan veri depolama katmanı verilerin güvenli bir yerde tutarken aynı zamanda da kolay erişim imkanı sağlamaktadır. Ayrıca depolama uygulamaları donanım arızası veya dosya bozulması gibi durumlar için önemli bir çözüm kaynağıdır.

Verinin kendisinin ve gerçek zamanlı analizinin bu kadar önemli olduğu süreçte verinin depolanması ve istek halinde hızlıca geri döndürülmesi ve ulaşılabilir hale getirilmesi uygulamalarda oluşacak maddi ve manevi kayıpların önüne geçecektir. Sonuç olarak, depolama cihazlarının sistemin maliyet, performansı, güvenilirlik ve veri bütünlüğü gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. Tablo 4'de Sis düğüm depolama gereksinimleri için gerekli olan bazı depolama teknolojileri gösterilmiştir.

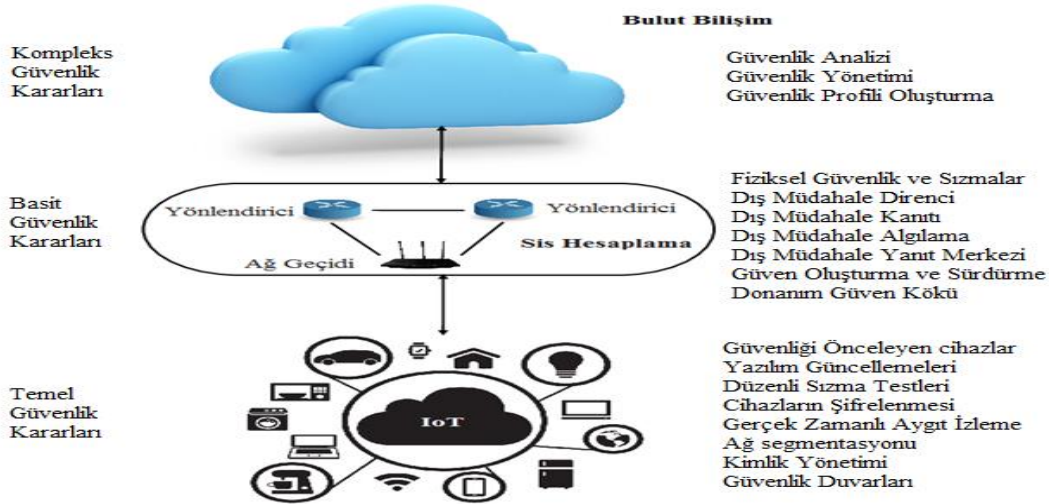
Tablo 4. Sis düğümü için depolama türleri

Depolama türleri	Sis düğümü için gereksinimi
RAM Dizileri	Kalıcı depolama alanına erişirken ilave gecikmeye karşı sensörlerde elde edilen veriler üzerinde gerçek zamanlı işlemlerde kullanılabilir.
Yarıiletken Sürücüler	Flash tabanlı olup depolama güvenilirliği, düşük güç gereksinimleri ve çevresel sağlamlığı nedeniyle kullanılır.
Sabit Diskler	Büyük boyutlu veri ve düşük maliyetli depolama için, sis düğümleri RAID dizileri olarak düzenlenmiş dönen diskler içerebilir.

Sis hesaplamadaki depolama cihazları, şifreleme, anahtar yönetimi ve kimlik doğrulanması özelliklerini barındırmalıdır. Sanallaştırılmış sis hesaplama ortamlarında depolama cihazı, belirli uygulamalara veya sanal makinelere, ayarlanabilir depolama kaynakları sağlayarak kimlik tabanlı performans tahsisini desteklemelidir. Beklemede olan veri şifrelemesini desteklemek, çoğu sis mimaride, veri merkezinde görülen fiziksel koruma mekanizmasının artık doğru olmadığı alanlarda kullanılma imkanı sağlamaktadır.

4. Sonuç

Sis düğümünün ihtiyaçlarını doğru bir şekilde tanımlamak için sis uygulamasının bir güvenlik analizinin ve tehdit değerlendirmesinin yapılması gerekir. Bu sağlandıktan sonra, uygun fiziksel güvenlik önlemlerini, güveni tesis etmek ve sürdürmek için en uygun yöntemi ve sis düğümünün güvenli bir şekilde yönetilmesi ve yanıt vermesi için ne tür politikaların uygulanacağı belirlenir.



Şekil.5. Sis Düğümü Güvenlik Önerileri

IoT teknolojisinin gelişerek tüm iş alanlarına yayılması, yüksek hızlı veri işlemeyi, gerçek zamanlı ve büyük veri analizini ve daha kısa yanıt sürelerini bir norm haline getirmektedir. Bu gereksinimleri bulut tabanlı model yöntemiyle karşılamak artık zorlaşırken, mimari olarak ağır herhangi bir yerine konumlandırılabilir sis düğümleri olan sis bilişim modelinin dağıtık mimarisi bilgi işlemi ve

uygulama hizmetlerini ağına uçlarına kadar yaklaştırarak daha hızlı yanıt süreleri alınabilmesini sağlamaktadır. Yapılan çalışma sis düğümlerinin mimari yapısına odaklanarak yüksek hız, gerçek zamanlı veri analizi ve kısa yanıt süresi gibi sayılan problemlerin çözümü için sis hesaplamasının önemi ve çözüm önerilerini ortaya koymuştur.

Kaynakça

- Arkian, H.R., Diyanat, A., & Pourkhalili, A. (2017). Mist: Fog-based data analytics scheme with cost-efficient resource provisioning for IoT crowdsensing applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 82, 152–165. doi: 10.1016/j.jnca.2017.01.012
- Assuncao, de M.D., Da Silva Veith, A., & Buyya, R. (2018). Distributed data stream processing and edge computing: A survey on resource elasticity and future directions. *Journal of Network and Computer Applications*, 103, 1–17. doi: 10.1016/j.jnca.2017.12.001
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012). Fog computing and its role in the internet of things. in *Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing, ser. MCC '12. New York, NY, USA: ACM*, 13–16. doi: 10.1145/2342509.2342513
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. doi: 10.1016/j.future.2013.01.010
- Karagiannis, V. (2019). Compute node communication in the fog: Survey and research challenges. in *Workshop on Fog Computing and the IoT (IoT-Fog)*, 1–5. doi: 10.1145/3313150.3313224
- Karagiannis, V., Venito, A., Coelho, R., Borkowski, M., and G. Fohler, G. (2019). Edge computing with peer to peer interactions: Use cases and impact. in *Workshop on Fog Computing and the IoT (IoT-Fog)*, 1–5. doi: 10.1145/3313150.3313226
- Lu, R., Heung, K., Lashkari, A.H., & Ghorbani, A.A. (2017). A lightweight privacy-preserving data aggregation scheme for fog computing-enhanced IoT. *IEEE Access*, 5, 3302–3312. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2677520
- Lujic, I., De Maio, V., and I. Brandic, I. (2017). Efficient edge storage management based on near real-time forecasts. in *International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)*, 21–30. doi:10.1109/icfec.2017.9
- Zhang, B., Mor, N., Kolb, J., Chan, D.S., Lutz, K., Allman, E., Wawrzynek, J., Lee, E., & Kubiawicz, J. (2015). The cloud is not enough: Saving IoT from the cloud. in *7th USENIX Workshop on Hot Topics in Cloud Computing (HotCloud '15)*. Santa Clara, CA: USENIX Association, Jul.2015.