Bölüm 4

Zaman Serisi Verilerinin Yönetimi ve Nesnelerin İnterneti Tabanlı Yenilikçi Uygulama Mimarileri

Süleyman Burçin Şüyun[1]

Özet

Bu çalışma, sensör temelli sistemlerin ürettiği zaman serisi verilerinin yönetiminde kullanılan temel yaklaşım ve kavramları ele almaktadır. Bu tür yapılarda ölçümler kimi zaman düzenli aralıklarla, kimi zaman ise kesintili ve yüksek tempolu olarak üretilmektedir. Bu nedenle verinin toplanması, güvenli şekilde iletilmesi, zaman odaklı yapılarda saklanması ve daha sonra işlenmesi birbirinden ayrılan fakat birbiriyle bağlantılı adımlar içinde gerçekleşir. Çalışmanın amacı, bu adımların bütünsel bir veri akışı içinde nasıl ilerlediğini teknik bir bakışla ortaya koymaktır.

Zaman serisi odaklı veri tabanlarının son dönemlerde büyük önem kazanmasının temel nedeni, klasik veri tabanı modellerinin bazı sınırlamalara sahip olmasıdır. Özellikle yazma hızının yetersiz kaldığı durumlar, sıkıştırma kapasitesinin düşük olması ve ölçek büyüdükçe performansın düşmesi, daha uygun çözümler aramayı gerektirmiştir. Bu nedenle son yıllarda geliştirilen mimari modeller, verinin kenar bölgede, ara katmanlarda ve merkezde işlenebilmesine imkan tanımaktadır. Bu yaklaşımın temel hedefi gecikmeyi azaltmak ve iletişim hattındaki yükü hafifletmektir. Böylece sistemin çalışma kararlılığı korunmuş olur.

Yapılan değerlendirmeler, zaman serisi veri yönetiminin yalnızca depolama sürecinden ibaret olmadığını açık bir şekilde göstermektedir. Verilerin işlenmesi, alışılmadık durumların fark edilmesi, belirli eşik değerlerinde uyarı üretilmesi ve bazı işlemlerin otomatik olarak yürütülmesi artık bu yapıların doğal bir parçası haline gelmiştir. Bu özelliklerin birlikte çalıştığı bütünleşik bir yaklaşım, modern veri akış sistemlerinin temel gereksinimleri arasında yer almaktadır.

1 Öğr. Gör. Süleyman Burçin Şüyun, Sinop Üniversitesi, Rektörlük, Dijital Dönüşüm Ofisi, Sinop, Türkiye, ,suyun@sinop.edu.tr, ORCID ID:0000 0003 2808 1861

https://doi.org/10.58830/ozgur.pub1128.c4608

1. Giriş

Nesnelerin interneti kavramı, elektronik kartların dijital ağlar üzerinden birbirleriyle iletişimleri temeline dayanır. Bu iletişim ile çok büyük hacimlerde zaman serisi verisinin oluşmasını sağlamıştır. Bu veriler nesnelerin interneti aygıtları tarafından sürekli biçimde üretilen özellikle sensöre ait büyük ölçekli verilerdir. Bu verilere örnek vermek gerekirse sıcaklık, nem, basınç, konum, gaz yoğunluğu gibi çok farklı türü kapsamaktadır (Shah, Jat ve Sasidhar, 2022). Oluşan verilerin toplanması ve analiz edilmesi sistemin iyileştirilmesi bakımından büyük bir öneme sahiptir (de Oliveira ve ark., 2023).

Zaman serisi verilerinin özellikle bulut sistemlerde kayıtlarının artması bazı sıkıntılar getirilmiştir. Bu sıkıntılar ölçeklenebilirlikte ve performansta yetersizler getirmiştir. Bu sebeple, zaman damgası odaklı daha çok olayların kaydına yönelik depolama modelleri ve yüksek yazma okuma kapasitesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaç sebebi ile Zaman Serisi Veri Tabanları (ZSVT) geliştirilmiştir (Shah ve ark., 2022). InfluxDB, TimescaleDB ve OpenZSVT gibi çözümler, Nesnelerin interneti çalışmalarında büyük hacimli verinin yönetimi için öne çıkan teknolojiler olmuştur.

Nesnelerin interneti çalışmalarında yalnızca verinin depolanması değil aynı zamanda kaynağının güvenilir bir biçimde izlenebilmesi de giderek önem kazanmaktadır. Veri kökeni, verinin üretildiği kaynak manasına gelmektedir. Bu kaynaktaki verilerin geçirdiği işlemler ve uğradığı değişikliklerin kaydedilmesi gerekir. Bu süreç doğrulama, hata tespiti ve güvenlik mekanizmalarında önemli katkılar sunmaktadır (Hu ve ark., 2020).

Bir başka konu nesnelerin interneti tabanlı yapıların, hem donanım kısıtları hem de sınırlı bant genişliği nedeniyle verinin sıkıştırılmasını bir gereksinim haline getirmesidir. Zaman serisi verileri önemi artan sıkıştırma yöntemleri ile depolama gereksinimini azalmaktadır. Veri aktarım hızının artması ve makine öğrenmesi modellerine uygun veri temsilleri üretmek amacıyla yaygın biçimde kullanılmasını yaygınlaştırmaktadır (de Oliveira ve ark., 2023). Bu bağlamda veri yönetimi süreci dahlindeki süreçler veri toplama, veri depolama, veri işleme ve veri yönetimi/görselleştirme olmak üzere dört temel aşamadan oluşur. Bu mimari modern zaman serisi mimarilerinin çekirdeğini oluşturur (Shah ve ark., 2022).

Son yıllarda bulut, kenar ve sis katmanlarını birleştiren hibrit mimari çalışmaları hızla artmıştır. Bu mimarilerin gelişmesi ile veri işleme ve sıkıştırma adımlarının çoğu uç veya sis katmanında gerçekleştirilir. Bu işlemler gecikme süreleri azaltılmaktadır. Sistemin çalışma zamanındaki bu azalma enerji verimliliğini de artırmaktadır (de Oliveira ve ark., 2023). Bu şekilde

uçtan buluta taşınan veri akışı iyileştirilmesi ve sistemlerin ölçeklenebilirliği güçlendirilmektedir.

Bu çalışma temelde, nesnelerin interneti ortamlarında üretilen zaman serisi verilerinin toplanmasının katmanlarını içermektedir. Güvenli biçimde aktarılması, ölçeklenebilir depolama modelleriyle saklanması ve izlenmesine yönelik güncel yaklaşımları genel bir bakış açısıyla ele almayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda; farklı zaman serisi veritabanı mimarileri, veri kökeni yönetimi ve zaman serisi veri sıkıştırma teknikleri birlikte değerlendirilerek nesnelerin interneti tabanlı yenilikçi uygulama mimarilerinin tasarımına yönelik kapsamlı bir çerçeve sunulmaktadır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE / TEORİK ARKA PLAN

2.1. Zaman Serileri

Zaman serileri, belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerin her birinin bir zaman damgasıyla eşleştirildiği veri kümeleri olarak tanımlanır (Naqvi ve Yfantidou, 2017). Bu veri kümeleri, bir sistemde izlenen verilerin örneğin sıcaklık, basınç veya elektrik akımı bilgilerinin zaman içerisindeki değişimini ortaya koyar. Matematiksel yaklaşımda zaman serisinin denklemi aşağıda verilmiştir:

$$X = \left\{ \left(x_t, t | t_1 < t_2 < \ldots < t_n \right) \right\} \quad (1)$$

Denklemde gösterilen X değeri zaman serisini temsil eder. x_t değeri, ölçümün gerçekleştiği andaki durumu temsil eder. Örnek olarak bu bir sensör verisi zaman serisi olarak tutuluyor ise sensörden o anda alınan verdir. t ile gösterilen alan verinin alındığı zamanı temsil eder. Son olarak t_1, t_2, t_n bilgisi ise alınan bilgilerin zaman içeresinde toplandığını temsil eder. Burada zaman aralıklarının düzenli veya düzensiz bir sürekliliğe sahip olması bir başka konu başlığıdır (Shah ve ark., 2022).

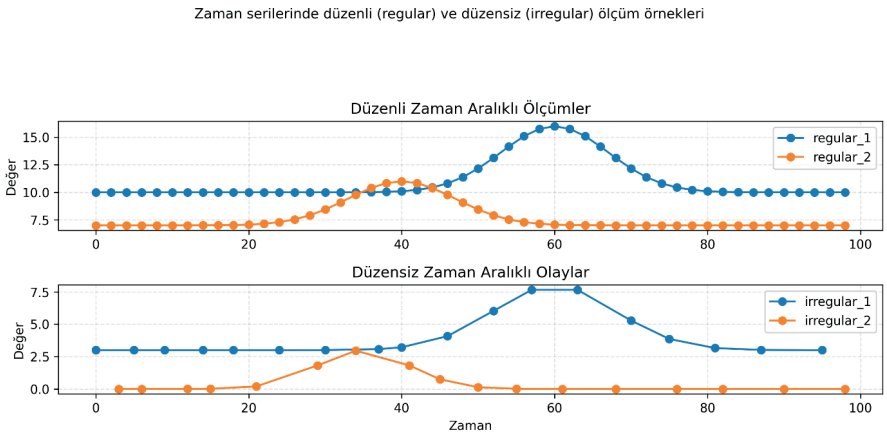
Zaman serileri; finans bilgilerinden çevresel gözlem bilgilerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle nesnelerin interneti gibi farklı konu başlıklarında yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Shen ve ark., 2023). Nesnelerin interneti tabanlı sistemlerde sensörlerden bir düzen eşliğinde sürekli olarak aktarılan veriler zaman serisi biçiminde oluşturulur. Oluşan veriler çoğu zaman kaydedilir veya gözlemlenir. Bu verilerin analizi, sistem davranışını anlamak ve geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak için önemli bir rol oynar (de Oliveira ve ark., 2023).

2.1.1. Zaman Serilerinde Düzenlilik

Zaman serisi verileri, ölçümlerin hangi düzenle toplandığına bağlı olarak iki temel gruba ayrılır. Bunlardan ilki düzenli yapılardır. Bu tür serilerde ölçümler eşit aralıklarla alınır ve sıcaklık, basınç ya da akım gibi sürekli değişen fiziksel büyüklüklerin zaman içindeki davranışını izlemek için uygundur. Örneğin BME280 sensörünün her saniye ürettiği sıcaklık verileri bu yapıya iyi bir örnek oluşturur.

Düzensiz serilerde ise belirli bir zaman aralığı bulunmaz. Ölçüm, çoğu zaman belirli bir olayın oluşmasına ya da bir sınırın aşılmasına bağlıdır. Gaz yoğunluğu belirli bir değerin üstüne çıktığında MQ7 veya MiCS5524 sensörlerinin ölçüm göndermesi bu duruma örnek gösterilebilir.

Bu iki yapı analiz açısından farklı özellikler taşır. Düzenli seriler sabit zaman aralığına sahip oldukları için pek çok istatistiksel yönteme doğrudan uygulanabilir. Düzensiz serilerde ise veri aralıkları eşit olmadığı için işlemler daha farklı bir yaklaşım gerektirir. Bu tür veriler çoğu zaman yeniden örnekleme ile sabit zaman aralıklarına dönüştürülür. Bazı durumlarda eksik noktaları tamamlamak için tahmin yöntemleri kullanılır. Bu işlemler veri setinin düzenli bir yapıya kavuşturulmasını sağlar ve analiz süreçlerini kolaylaştırır. Şekil 1'de düzenli zaman aralıklı ölçümler ve düzensiz zaman aralıklı olaylar verilmiştir.

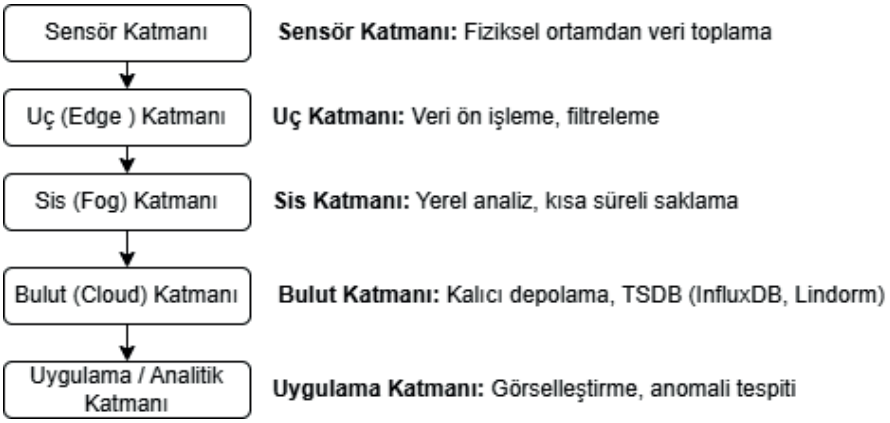


Şekil 1. Düzenli Zaman Aralıklı Ölçümler ve Düzensiz Zaman Aralıklı Olaylar

2.2. Zaman Serilerinin Nesnelerin İnterneti Uygulamalarındaki Rolü

Nesnelerin interneti teknolojilerinde zaman serisi verileri, cihazların çalışma durumunun izlenmesi sırasında beklenmedik davranışların ortaya çıkarılmasında önemli rol sahibidir. Bu sebeple zaman serisi verileri, sistemler için kritik öneme sahiptir. Bu avantaj enerji tüketiminin optimize edilmesi ve bakım faaliyetlerinin planlanması gibi birçok kritik süreçte temel bir bileşen olarak anılmaktadır. Sensörlerin üretmiş olduğu veriler uç, sis ve bulut katmanlarında işlenerek sürekli akış hâlinde zaman serisi şeklinde depolanabilir (de Oliveira ve ark., 2023). Bu tür yüksek frekanslı ve ardışık veriler, geleneksel ilişkisel veri tabanlarının ölçeklenebilirlik ve performans gereksinimlerini karşılayamaması nedeniyle özel olarak tasarlanmıştır ve Zaman Serisi Veri Tabanlarının (ZSVT) ortaya çıkmasına yol açmıştır (Naqvi ve ark., 2017; Shah ve ark., 2022).

ZSVT mimarileri, yüksek yazma performansı özelliği ve hızlı zaman aralığı sorgularını desteklemesi sayesinde nesnelerin interneti teknolojisi ile üretilen büyük hacimli verilerin yönetimini kolaylaştırmaktadır. Yapılan karşılaştırmalı performans çalışmalarında InfluxDB ve TimescaleDB gibi sistemlerin performansı diğer sistemlere göre gözle görülebilir ölçüde iyi olduğu anlaşılmıştır. Özellikle nesnelerin interneti uygulama senaryolarında veri ekleme ve sorgulama operasyonlarında oldukça yüksek verimlilik sunduğunu gösterilmiştir (Shah ve ark., 2022). Bununla beraber, Lindorm ZSVT altyapısının milyarlarca aktif zaman serisini söz konusu olduğu deneyimlere tabi tutulmuştur. Bu deneyimlerde düşük gecikmeyle işleyebildiği gözlemlenmiştir. Bu özelliği makine öğrenmesi tabanlı düzensizlik tespiti gibi ileri analiz tekniklerinin kullanılmasına elverişlidir. Bununla beraber sistem doğrudan SQL düzeyinde desteklediği bildirilmektedir (Shen ve ark., 2023). Şekil 2'de nesnelerin interneti veri akış katmanları verilmiştir.



Şekil 2. Nesnelerin İnterneti Veri Akış Katmanları.

3. YÖNTEM

3.1. Süreç Görünümü

Zaman serisi verilerinin verimli bir şekilde yönetilebilmesi, dört ana bileşenin birbirini tamamladığı bir süreç olarak ele alınır. Bunlar, veri toplama veri depolama, veri işleme ve veri yönetimi görselleştirme) süreçleridir. Bu aşamalar, sensör temelli düzeneklerde ve nesnelerin interneti tabanlı yapılarda uçtan, buluta doğru ilerleyen veri akışının temelini oluşturur. Sonuç olarak bu süreç sistemin bütünsel çalışma çerçevesini ortaya koyar.

3.1.1. Veri Toplama

Bu aşamada fiziksel çevreden ölçüm alınması temelini söz konudur. Sensörler çoğu zaman mikrodenetleyici ailesinden gömülü donanımları aracılığıyla bilgileri alır. Elde edilen değerler örneğin sıcaklık, nem, gaz yoğunluğu, basınç ya da akım gerilim gibi parametreler sayısal forma dönüştürülerek sistemde işlenebilir hâle getirilir. Üretilen bu veriler çoğunlukla MQTT, HTTP gibi iletişim protokolleri kullanılarak ağ üzerinden bir sonraki sisteme iletilir. Veri bütünlüğü verilerin toplanması aşamasında önemli bir başlıktır. Veri bütünlüğü ile birlikte örnekleme aralığı ve iletişim gecikmesi gibi unsurlar, sistem performansını doğrudan belirleyen temel etkiler arasında yer almaktadır.

3.1.1.1. Veri Aktarımı

Sensörlerden gelen zaman serisi verilerinin güvenli bir biçimde ve gecikme oluşmadan veri tabanına aktarılması sistemin en önemli adımlarından

biridir. Bu aşamada amaç, uç noktada üretilen verilerin kesintisiz şekilde merkezi yapıya ulaşmasını sağlamaktır. Aktarımın doğru yapılması hem veri bütünlüğü açısından hem de sistemin genel kararlılığı için kritik bir gerekliliktir.

Bu aktarım süreci için farklı yöntemler kullanılabilir. InfluxData tarafından önerilen veri alma yapısı, bilgilerin üç temel yol üzerinden veri tabanına iletilebileceğini belirtir.

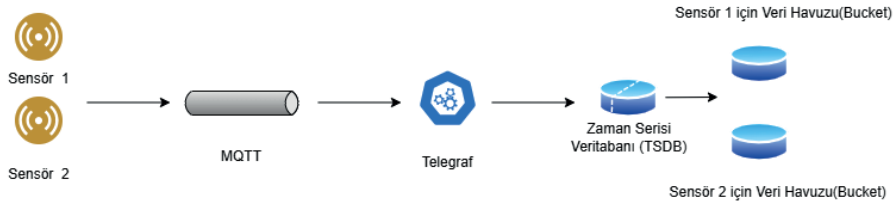
İlk yöntem doğrudan istemci bağlantısıdır. Bu yöntemde cihaz ya da yazılım, veri tabanı sağlayıcısının sunduğu kütüphaneleri kullanarak ölçümleri doğrudan yazma arayüzüne gönderir. Yapısı basit olduğu için küçük ölçekte çalışan sistemlerde tercih edilebilir. Ancak üretilen veri miktarı arttıkça bağlantı yükü de yükselir. Bu durum bazı sınırlamalara yol açabilir.

Bir diğer yöntem ise ara katman kullanılmasıdır. Çok sayıda cihazın aynı anda veri ürettiği yapılarda genellikle bir geçiş noktası görevinde çalışan bir katman bulunur. Bu yapı farklı iletişim protokollerinden gelen verileri toplar ve ortak bir şekle dönüştürerek veri tabanına iletir. Böylece protokol farklılıkları sorun oluşturmaz ve sistem daha esnek bir hale gelir. Bu yaklaşım özellikle ölçek büyüdüğünde hatalara karşı daha dayanıklı bir yapı sunar.

Üçüncü yöntem Telegraf tabanlı veri akışıdır. Telegraf, farklı veri kaynaklarından ölçüm alabilen bir eklenti yapısıdır. Örneğin mesaj tabanlı bir aktarıcı üzerinden gelen bilgiler bu eklenti tarafından işlenir ve veri tabanına uygun bir formata dönüştürülür. Bu çözüm, özellikle enerji tüketimi düşük cihazlarda veriyi doğrudan buluta göndermenin oluşturduğu yükü azaltmak için kullanılır. Telegrafın ara bellekleme ve gecikmeli yazma özellikleri, bağlantı sorunlarında veri kaybını önleyerek sistemi daha verimli hale getirir.

Veriler hangi yöntemle gelirse gelsin, veri tabanında ölçüm adı, alan bilgileri, etiketler ve zaman damgasından oluşan ortak bir yapıya dönüştürülür. Böylece farklı kaynaklardan gelen ölçümler tek bir zaman çizgisi üzerinde birleştirilmiş olur. Bu yaklaşımın önemli bir başka bileşeni ise geçici depolama mekanizmasıdır. Geçiş katmanında kullanılan geri çekilme tekniği, bağlantı koptuğunda veriyi yerelde tutar ve bağlantı yeniden kurulduğunda aktarımı tamamlar. Bu süreç sistemin sürekliliğini korur.

Genel olarak veri aktarım yapısı, esneklik sunan, hatalara tolerans gösterebilen ve protokollere bağımlı kalmadan çalışabilen bir düzen oluşturur. Bu düzen sayesinde uç noktadan merkeze doğru ilerleyen veri akışı daha verimli bir hale gelir. Şekil 3'de InfluxDB veri alma mimarisi görselleştirilmiştir.



Şekil 3. InfluxDB Veri Alma Mimarisi.

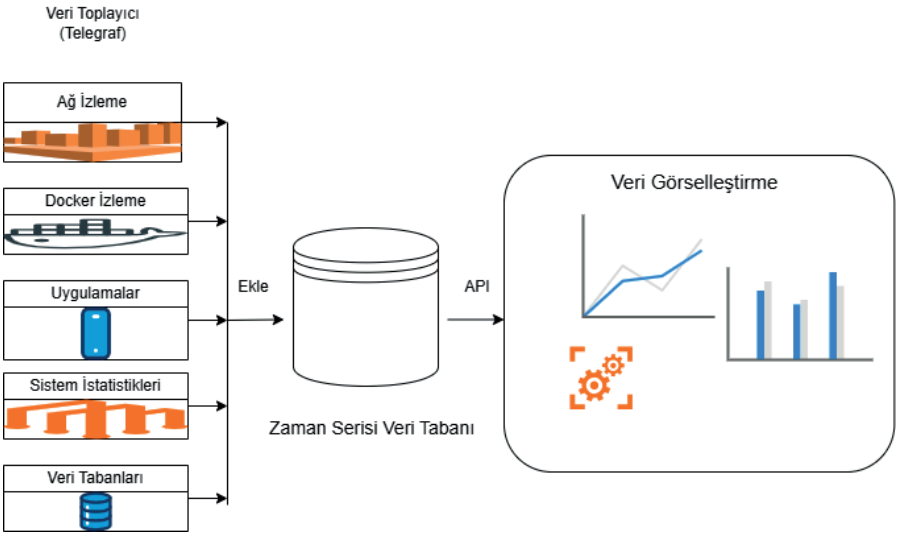
3.1.2. Veri Depolama

Veri depolama alanları, toplanan zaman serisi verilerinin uzun süre saklanmasını sağlayan temel yapılardır. Bu nedenle sisteme uygun bir zaman serisi veri tabanı ya da bulut ortamına dayalı bir depolama yöntemi seçmek önemli bir adımdır. Zaman serisi verileri genelde dört temel parça içerir. Bunlar verinin alındığı zamanı gösteren zaman damgası, ölçümün adı, ölçümle ilişkili alanlar ve açıklayıcı etiketlerdir. Bu yapı, verilerin düzenli ve okunabilir bir biçimde kaydedilmesini sağlar.

Zaman temelli veri tabanlarında bilgiler çoğu zaman veri havuzu olarak adlandırılan mantıksal bölümlerde tutulur. Bu havuzların her biri için ayrı bir saklama süresi tanımlanabilir. Örneğin basınca ait bir veri havuzunun saklama süresi bir ay olabilirken, finansal analizlerde kullanılan bir havuzda verilerin iki yıl boyunca korunması gerekebilir. Aynı veri havuzunda farklı ölçümler bir arada bulunabilir. Hava bilgisiyle ilgili bir ölçümle işlemci sıcaklığına ait bir ölçüm aynı alanda saklanabilir.

Depolama süreci belirli ilkeler üzerine kuruludur. Bunların ilki veri bütünlüğünün korunmasıdır. Zaman damgalarının ve etiketlerin doğru şekilde kaydedilmesi gerekir. Bir diğer ilke ise ölçeklenebilme özelliğidir. Gereksinime göre ölçüm sayısı ya da veri havuzu kapasitesi artırılabilir. Son olarak erişim güvenliği bulunur. Her havuzun erişim yetkisi yalnızca ilgili kullanıcı veya uygulama tarafından kullanılacak ayrı bir anahtar ile kontrol edilir.

Bu ilkeler bir arada çalıştığında sistemin bütünlüğü güçlenir ve depolama verimliliği artar. Dolaylı olarak sorguların daha hızlı yapılmasını da sağlar. Farklı kaynaklardan gelen verilerin tek bir zaman çizgisi altında düzenlenebilmesi, yönetim süreçlerini kolaylaştıran önemli bir avantaj oluşturur. Şekil 4'de InfluxDB Depolama Modeli aşamaları verilmiştir.

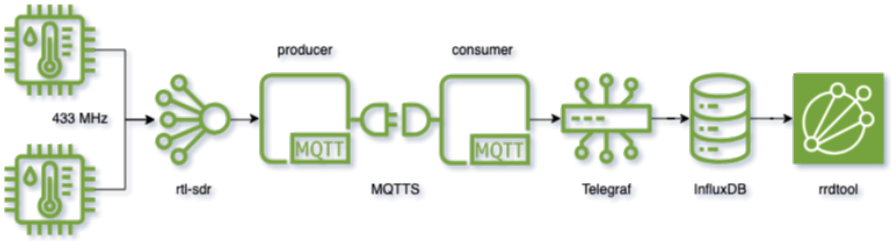


Şekil 4. InfluxDB Depolama Modeli.

*3.1.2.1 **InfluxDB** Zaman Yapılandırılmış Birleştirme Ağacı **(Time Structured Merge Tree)***

InfluxDB'nin temel depolama mekanizması olan Zaman Yapılandırılmış Birleştirme Ağacı(ZYB) İngilizce karşılığı Time Structured Merge Tree (TSM) motoru, zaman serisi verilerini disk üzerinde sütun olarak saklanmasını sağlar. Bu düzende organize edilen veriler yüksek hızlı sorgu işlemlerine olanak sağlar. Bir ölçüm belirli bir zaman damgasına karşılık gelen alan değerlerini ve açıklayıcı etiketleri içeren kayıtlardan oluşturulur. Bu yapı, verinin çoğunlukla yalnızca bir kez yazıldığı mekanizma sunar. Buda birçok kez okunduğu zaman serisi uygulamaları içi uygun bir mimari sunar (Shen ve ark., 2023).

Sonuç olarak ZYB tabanlı veri organizasyonu, zaman serisi verilerinin yönetiminde ölçeklenebilirlik katkı sağlar. Getirdiği avantajlar olan düşük gecikme ve enerji verimliliği açısından güçlü bir çözüm olarak değerlendirilebilir (Monotux Tech. 2024). Şekil5'de InfluxDB ZYB Motoru veri akışı görselleştirilmiştir.



Şekil 5. InfluxDB ZYB Motoru Veri Akış(Monotux Tech. 2024).

3.1.3. Veri İşleme

Zaman serisi verilerinin kullanışlı hâle getirilebilmesi için bazı işlemlere tabi tutulması gerekir. Bunların başında depolanan ölçümlerin düzenlenmesidir. Bu işlemleri özetle analiz, filtreleme ve dönüştürme işlemleri olarak sayılabilir. Bu aşamada ortalama, minimum, maksimum değer hesaplamaları, eğilim analizleri yapılır. Bu şekilde olay tespiti sağlanır. Bu işlemle makine öğrenmesi tabanlı kestirim modelleri gibi önemli veriler sağlanır. Nesne Tabanlı platformlarında bu işlemler istenildiğinde gerçek zamanlı olarak yürütebilir. Sonuç olarak sistem hem geçmiş verileri hem de o anda gelen akışı aynı anda değerlendirebilir.

Verinin işlenerek anlamlandırılması ve sistem içinde otomatik aksiyonlara dönüştürülmesi önemli bir yeniliktir. Bu veri yaşam döngüsünün üçüncü bileşenini oluşturur. Bu katman, verinin yalnızca depolanmasını değil aynı zamanda düzenli analizler sonucunda karar destek süreçlerine dönüşmesini de sağlar.

InfluxDB mimarisinde bu işlev "Görevler" bileşeni tarafından yerine getirilir. Görevler, veri işleme sorumluluğunu zamanlanmış sorgular üzerinden gerçekleştirir. Bu sorumluluk InfluxDB'nin kendi sorgu dili olan Flux ile tanımlanır. Her görev belirlenen zaman aralıklarında çalışır. Bu depolanan veri üzerinde özetleme ve filtreleme işlemi sağlar. Yeniden örnekleme veya koşul tabanlı hesaplamalar yürütebilir. Örneğin, sıcaklık sensörlerinden 10 saniyede bir toplanan ham ölçümlerin her bir dakikaya karşılık gelen ortalama değerlerinin üretildiği bir senaryo oluşturulabilir. Görevler modülü bu işlevi otomatik olarak gerçekleştirip sonuçları yeni bir veri havuzuna aktarabilir. Bu süreç hem depolama gereksinimini azaltır hem de eğilim analizi için optimize eder.

Görevler modülü yalnızca veri dönüşümünü sağlamaz. Aynı zamanda olay tabanlı uyarı mekanizmaları ile entegrasyon da sunar. Belirlenen eşik değerlerinin aşılması durumunda sistem dış servisler ile etkileşir. Örnek

vermek gerekirse Slack, HTTP Webhook gibi dış servisler üzerinden otomatik bildirimler gönderebilir. Bu özellik sayesinde InfluxDB, sadece bir veri saklama altyapısı olmaktan çıkarak. Gerçek zamanlı karar destek ve otonom olay yönetimi gerçekleştirebilen bir platform hâline gelir.

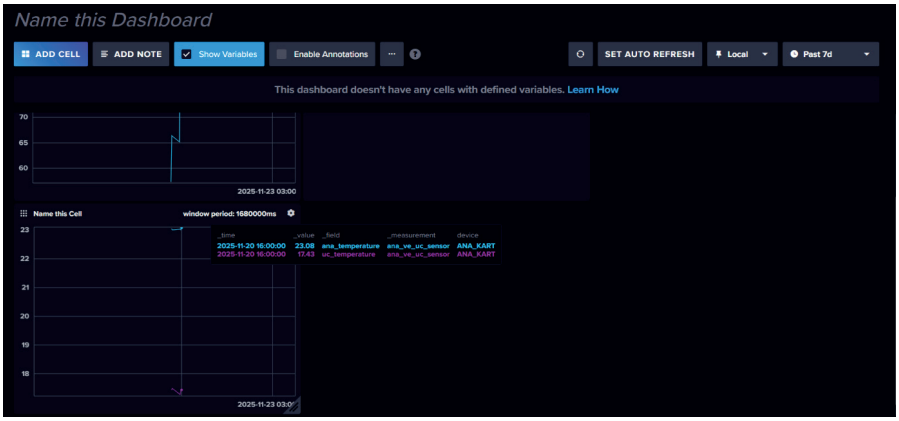
Görevler yapısı, normalde uygulama geliştiriciler tarafından manuel olarak kodlanması gerektirir. Buda birçok işlem adımını doğrudan veri tabanının içine taşır. Böylece uygulama mantığının kayda değer bir bölümü veri tabanında gömülü biçimde gerçekleşir. Sistem, yazılım katmanından bağımsız olarak kendi kendini yürüten bir mimariye dönüşür. Bu yaklaşım, klasik veri işleme modellerine kıyasla verinin işlendiği ortam ile uygulama mantığı arasındaki ayrımı azaltır. Diğer bir değişle "gömülü işleme" anlayışını öne çıkarır.

Sonuç olarak InfluxDB Görevler modülü; zaman serisi verilerinin analiz için önemli yetenekler sunar ve uyarı üretme ve otomatik aksiyon döngüsünü bütüncül bir yapıda yönetir.

3.1.4. Veri Yönetimi ve Görselleştirme

Bu aşamada üretilen verilerin gösterimi söz konusudur. Kullanıcıların yorumlayabileceği biçimde sunulmak üzere görselleştirilir. Şekil 6'da verilen Dashboard adı verilen arayüz yapılarının dahilinde otomatik uyarı mekanizmaları ve raporlama araçları sunulur. Bu araçlar aracılığıyla sistemin genel durumu gözlemlenir. Sistemin performans göstergeleri ve olası anormallikler sürekli olarak izlenebilir. Böylece ham verilerden yola çıkarak, karar alma süreçlerini desteklenir. Veri kullanıcılar veya verinin hizmetine sunulduğu tüketiciler için anlamlı bilgilere dönüştürülmüş olur.

Bu katman aynı zamanda yetkilendirme süreçlerinin yürütür. Veri güvenliği ilkelerinin tanımlandığı ve erişim kayıtlarının tutulduğu yönetim bölümünü de kapsar. Temel amaç, operatörlerin sistem davranışını gerçek zamanlı olarak takip eder. Beklenmedik durumları erkenden tespit etmesi sağlanır. Bu doğrultuda veri odaklı kararlar verebilmesini gerçekleşir.

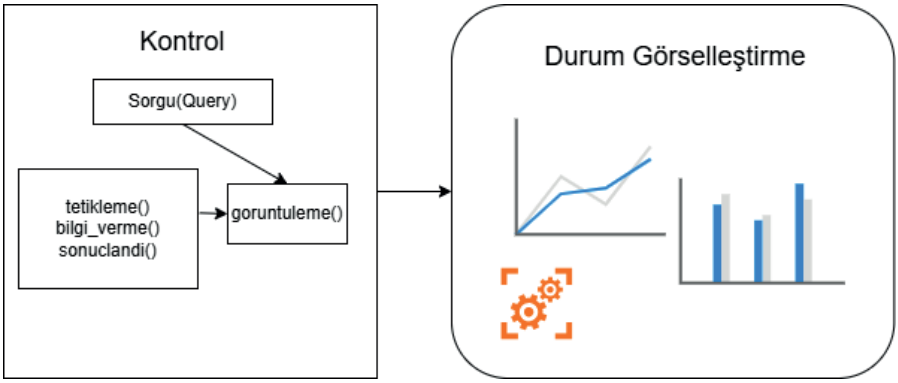


Şekil 6. InfluxDB Dashboard ekranı.

3.1.4.1. Kontrol & Uyarı Mekanizması

InfluxDB'nin "Kontrol & Uyarı" mekanizması bileşeni sunar. Bu mekanizma veri yönetimi katmanında gerçek zamanlı olay izler ve durum değerlendirme işlevi görür. Bu mekanizma, zaman serisi verileri üzerinde tanımlanan eşiklere veya beklenmeyen sapmalara dayalı olarak anomali tespit eder. Bu tür sistem için kritik durumları otomatik biçimde algılar. Buna bağlı olarak ilgili bildirim kanallarını devreye sokar. Sistemde kullanılan iki temel kontrol türü vardır. Bunlar Threshold Kontrol ve Deadman Kontrolleridir. Bu mekanizmalar sırasıyla belirlenen sınır değerlerin aşılması ile veri akışının durması veya belli süre boyunca güncellenmemesi durumunda devreye girer. Bu durumlarda uyarı üretmek üzere tasarlanmıştır. Böylelikle InfluxDB, yalnızca geçmiş veriyi geriye dönük incelemez. Bununla birlikte basit bir yapı olmaktan çıkıp, anlık olaylara tepki verebilen proaktif bir izleme platformuna dönüşmektedir.

Üretilen uyarılar, Slack, HTTP webhook gibi farklı bildirim kanalları aracılığıyla ilgili kullanıcılara sunulur. Bu şekilde operasyon ekiplerine de iletilebilir. Veri yönetim katmanı, karar destek sistemleriyle entegre çalışır. Bu şekilde büyük ölçüde otonom bir izleme ve alarm altyapısına evrilirmiş olur. Şekil 7'de kontrol & uyarı Akışı görseli verilmiştir.



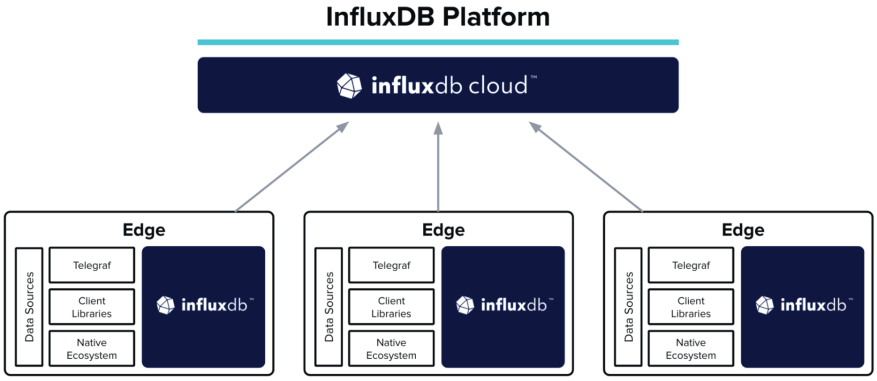
Şekil 7. Kontrol & Uyarı Akışı.

3.1.5. Uç Bulut Tabanlı Veri Yönetimi Yaklaşımı

Nesnelerin interneti mimarilerinde verilerin yalnızca merkezi bulut ortamında değil, aynı zamanda Uç katmanda da işlenmesine ihtiyaç duyulur. InfluxDB'nin Uç yaklaşımı, veri akışının hem yerel sistemlerde hem de bulut ortamında gerçekleştirir. Bu eşzamanlı işlem, sistemin tutarlı şekilde yönetilebilmesini mümkün kılar. Bu mimari modelde sensörlerden gelen ölçümler önce InfluxDB OSS üzerinde toplanır. Daha sonra ön analizlere tabi tutulur. Son olarak işlenmiş veya özetlenmiş veri kümeleri InfluxDB Cloud'a aktarılır.

Bu yapı sayesinde ağ bağlantısının kesildiği durumlarda dahi yerelde üretilen veriler kaybolmaz. Sistem çalışmaya devam eder. Bağlantı yeniden sağlandığında ise bulut tarafındaki veritabanı otomatik olarak güncellenir. Diğer bir değişle senkronizasyon tamamlanır. Bu mekanizma, gerçek zamanlı tepki vermesi gereken endüstriyel nesne tabanlı uygulamalarında önemli bir ayrıntıdır. Bu özellik gecikmenin düşürülmesine hem de bant genişliğinin daha verimli kullanılmasına katkı sunar.

InfluxDB'nin Uç mimarisi, Telegraf ile istemci kütüphanelerinin birlikte çalışması sayesinde esnek veri toplama imkanı sağlar. Telegraf'ın arabelleğe alma ve yeniden iletim kapasitesi yüksek ölçeklenebilirliğe sahip bir çözüm sunmaktadır Şekil 8'de InfluxDB Uç Bulut mimarisi: Uç cihazlardan buluta veri akışı verilmiştir(InfluxData, 2022).



Şekil 8. InfluxDB Uç Bulut Mimarisi: Uç Cihazlardan Buluta Veri Akışı(InfluxData, 2022).

3.2. Sensör Bazlı Uygulama Örnekleri

Nesnelerin interneti tabanlı uygulamalarda kullanılan sensörler, ürettikleri verinin yapısına göre düzenli veya düzensiz zaman serisi oluşturabilir. Bununla ilgili ayrıntılı bilgi 2.1 Zaman Serileri bölümünde verilmiştir. Düzenli zaman serilerinde ölçümler sabit aralıklarla elde edilir. Bu yapı akım gerilim veya ışık şiddeti gibi sürekli değişen bilgiler oluşur. Bu fiziksel olarak büyük verinin izlenmesine uygun bir temel sunar. Buna karşılık, düzensiz zaman serileri olayların gerçekleşme anlarına bağlı olarak veriler oluşur. Bu veriler çoğunlukla gaz sensörleri, mesafe sensörleri ya da anahtar temelli tetikleyiciler tarafından üretilir. Bu sensörlerin her biri farklı uygulama alanlarında kritik işlevlere sahiptir.

Düzenli ölçüm yapan DHT11, DHT21 veya BME280 gibi sensörler uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. İç ortam iklimlendirme, hava kalitesi takibi ya da enerji sistemlerinin performans değerlendirmesi gibi görevlerde etkin rol almaktadırlar. Düzensiz veri üreten sensörler ise genellikle olay tespiti gerektiren sistemlerde yer alır. Örneğin MQ2, MQ7 ya da MiCS5524 gaz sensörleri yalnızca belirli bir eşik değeri aşılması durumunda veri üretir. Bu sensörler ise güvenlik ve erken uyarı mekanizmalarının temel bileşenleridir.

Bu yapı, farklı sensör tiplerinin ürettiği veri akışlarının zaman serisi biçiminde nasıl işlendiğini anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Tablo 1, bu sensörlerin ölçtüğü değerleri, zaman serisi türlerini ve benimsedikleri uygulama alanlarını bütüncül bir biçimde özetlemektedir. Nesnelerin interneti sistemlerinde kullanılan sensörlerin ürettiği veri türleri ve bu verilerin zaman serisi yapıları Tablo **1**'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Nesnelerin İnterneti Sistemlerinde Kullanılan Sensörlerin Ürettiği Veri Türleri Ve Bu Verilerin Zaman Serisi Yapıları.

Sensör	Ölçtüğü Değer	Zaman Serisi Türü	Uygulama Alanı
DHT11, DHT21	Sıcaklık, Nem	Düzenli	İç ortam denetimi
BME280	Basınç, Sıcaklık, Nem	Düzenli	Hava kalitesi izleme
INA219	Akım, Gerilim	Düzenli	Güneş paneli performans ölçümü
LDR	Işık şiddeti	Düzenli	Otomatik aydınlatma
MQ2 / MQ7 / MQ135 / MiCS5524	Gaz varlığı	Düzensiz	Gaz kaçağı tespiti
HCSR04	Mesafe	Düzensiz	Otonom araç sistemleri
Reed Switch	Açık,Kapalı	Düzensiz	Güvenlik sistemleri
Alev Sensörü	Alev oluşumu	Düzensiz	Yangın erken uyarı

3.2.1 Mimari Akış Özeti

Bu bütünleşik yapı, nesnelerin interneti mimarilerinde oluşturan verilerin Topla, Depola, İşle ve Yönet (Collect, Store, Process, Manage) adımlarının uygulanmasını sağlar. Bu işlemler mühendislik düzeyinde işlemler için fayda sağlar. Modüler bir yaklaşımla tasarlandığı için sistem ölçeklendirmeye uygun hâle gelir. Buda bileşenlerin farklı senaryolarda yeniden kullanılmasını mümkün kılar. Bu esneklik, mimarinin çeşitli nesneleri interneti uygulamalarına kolayca uyarlanabilmesini sağlayarak geniş kapsamlı bir kullanım alanı oluşturur.

3.3. Uygulama Alanları

Zaman serisi verilerine dayalı bu mimari yaklaşım pek çok avantaj sağlar. Bu avantajlar yalnızca teknik bir çözüm olarak sınırlamamak gerekir. Pek çok sektörde kritik operasyonların temel altyapısı olarak kullanılmaktadır. Akıllı şehirlerden enerji yönetim sistemlerine kadar geniş bir yelpazede karşılık bulur. Bu yapı, gerçek zamanlı veri akışını işleyebilme yeteneği sayesinde sistemlerin daha verimli, güvenilir şekilde çalışmasına katkı sağlar. Ayrıca akıllı bina teknolojileri ve sağlık alanındaki uygulamalarda olduğu gibi insan odaklı süreçlerde karar destek mekanizmalarını güçlendirerek destekler. Bu

nedenle söz konusu mimari, günümüz nesnelerin interneti teknolojilerinde vazgeçilmez bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Bu mimari yapıyı özetlemek gerekirse:

- Akıllı şehir altyapıları,
- Enerji izleme sistemleri,
- Endüstriyel otomasyon,
- Tarım ve çevre izleme,
- Akıllı bina ve sağlık teknolojileri

gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde sensör tabanlı veri akışlarında kullanılan zaman serisi yönetimi değerlendirilmiştir. Yapılan incelemelerde, cihazlardan gelen ölçümlerin ilk toplandığı katmandan başlayarak merkezi sunuculara kadar uzanan çok adımlı bir veri zinciri olduğu görülmüştür. Bu yapıda veri toplama, depolama, işleme ve sunum bölümleri birbirini tamamlayan adımlar şeklinde çalışmaktadır.

Sensörlerin çoğu zaman kısa aralıklarla veri göndermesi, klasik veri tabanlarının bu yoğun akışı karşılamasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle zaman odaklı veri tabanlarının tercih edilme nedeni daha net ortaya çıkmaktadır. Sütun temelli depolama yaklaşımının sunduğu avantajlar sayesinde, büyük veri setlerinde okuma ve yazma hızının belirgin biçimde arttığı anlaşılmaktadır.

Veri kaynağının hangi süreçlerden geçtiğini izlemeye yarayan köken takip mekanizmalarının, güvenilirlik açısından önemli bir katkı sunduğu da görülmüştür. Böyle bir izleme, hataların nerede oluştuğunu anlamayı kolaylaştırdığı için özellikle kritik uygulamalarda tercih edilmektedir.

Zaman serisi verilerinde kullanılan sıkıştırma yöntemleri de dikkate değer bir sonuç vermektedir. Depolama alanı sınırlı olan sistemlerde bu sıkıştırma işlemlerinin performansı belirgin ölçüde artırdığı gözlemlenmiştir. Cihazların bulunduğu uç bölgelerde yapılan ön işlemler hem veri miktarını azaltmakta hem de merkezi sistemlerin yükünü hafifletmektedir. Bu iki etki birleştiğinde, karar verme süreçlerinin daha hızlı yürütüldüğü görülmektedir.

Genel değerlendirmede, zaman serisi veri yönetiminin yalnızca saklama odaklı bir konu olmadığı anlaşılmaktadır. Verilerin işlenmesi, eşik değerlerine göre uyarı üretilmesi ve görsel arayüzlerde yorumlanabilir hale getirilmesi

sistem bütünlüğüne önemli katkı sağlamaktadır. Özellikle anlık izleme gerektiren uygulamalarda bu yaklaşım temel bir gereklilik haline gelmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sensör temelli sistemlerin ürettiği zaman serisi verilerinin uç bölgeden merkezi yapılara kadar ilerleyen sürecini ele almıştır. Verinin nerede toplandığı, nasıl işlendiği ve hangi depolama tekniklerinin tercih edildiği bütüncül bir çerçevede incelenmiştir. Yapılan analizler, zaman odaklı veri tabanlarının bu sürece önemli katkı sağladığını göstermektedir. Bu tür veri tabanlarının yüksek yazma kapasitesi ve zaman temelli sorgu özellikleri, geleneksel yöntemlere göre belirgin avantaj sunmaktadır.

Uç bölgede yer alan cihazlarda yapılan ön analizler ve geçici depolama yöntemleri, gecikme süresini azaltarak sistemin daha hızlı tepki vermesini sağlamaktadır. Bu nedenle geniş kapsamlı uygulamalarda uç, sis ve merkez bölgelerin birlikte çalıştığı mimari yapıların tercih edilmeye devam edeceği öngörülmektedir.

Zaman temelli veri tabanlarının sahip olduğu görev, uyarı ve kontrol mekanizmaları da dikkat çekici bir katkı sunmaktadır. Bu mekanizmalar sayesinde veri tabanı yalnızca bir saklama alanı olmaktan çıkmakta, aynı zamanda işlem ve denetim fonksiyonları da üstlenmektedir. Özellikle enerji izleme, endüstriyel izleme gibi alanlarda insan müdahalesine gerek kalmadan tepki verebilen modeller ön plana çıkmaktadır. Gelecek dönemlerde bu otomatik karar veren yapıların daha fazla kullanılacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

de Oliveira, M. A., da Rocha, A. M., Puntel, F. E., & Cavalheiro, G. G. H. (2023). Time series compression for iot: A systematic literature review. Wireless Communications and Mobile Computing, 2023(1), 5025255.https://doi.org/10.1155/2023/5025255

Hu, R., Yan, Z., Ding, W., & Yang, L. T. (2020). A survey on data provenance in IoT. *World Wide Web*, *23*(2), 1441-1463.https://doi.org/10.1007/s11280 019 00746 1

InfluxData. (2022, Haziran). edge data replication: Keeping your time series data safe and available. https://www.influxdata.com/blog/edge data replication/

Khelifati, A., Khayati, M., Dignös, A., Difallah, D., & Cudré Mauroux, P. (2023). TSM bench: benchmarking time series database systems for monitoring applications. Proceedings of the VLDB Endowment, 16(11), 3363-3376.. https://doi.org/10.14778/3611479.3611532

Monotux Tech. (2024, Ekim). Telegraf MQTT. https://www.monotux.tech/posts/2024/10/telegraf mqtt/

Naqvi, S. N. Z., & Yfantidou, S. (2017). Time series databases and influxdb, université libre de bruxelles. *Advanced databases winter semester*, *2018*.

Shah, B., Jat, P. M., & Sashidhar, K. (2022). Performance study of time series databases. https://arxiv.org/abs/2208.13982

Shen, C., Ouyang, Q., Li, F., Liu, Z., Zhu, L., Zou, Y., ... & Li, F. (2023). Lindorm ZSVT: A cloud native time series database for large scale monitoring systems. Proceedings of the VLDB Endowment, 16(12), 3715-3727. https://doi.org/10.14778/3611540.3611559