

## Akademik Verilerin Neo4j Çizge Veritabanı ile Modellenmesi

Berna Çengiz<sup>\*1</sup>, Faysal Elbeg<sup>1</sup>, Mehmet Özdem<sup>2</sup>, Resul Daş<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, 23119 Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup>Türk Telekom, Ankara, Türkiye

<sup>1\*</sup>brnpolatt@gmail.com, <sup>2</sup>faysalelbeg@gmail.com, <sup>3</sup>mehmet.ozdem@turktelekom.com.tr, <sup>4</sup>rdas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 11/07/2024;

Kabul/Accepted: 20/11/2024)

**Öz:** Her geçen gün gelişen teknoloji ile, üretilen veri miktarı devasa boyutlara ulaşmaktadır. Veri, diğer verilerle olan ilişkisiyle birlikte en güçlü ve anlamlı bilgiyi oluşturmaktadır. Veriler arasındaki ilişkinin verinin kendisinden daha önemli olması dikkat çeken noktalardan biridir. Bu ilişkiler, İlişkisel veri tabanları tarafından verimli bir şekilde ele alınmaktadır. Ancak büyük miktarda veriyi ilişkileriyle birlikte ele almak sıkıcı bir süreçtir. Çizge Veri tabanları, İlişkisel veri tabanlarındaki varlıklar ve ilişkileri, çizge veri tabanlarındaki düğümler ve ilişkiler ile daha basite indirgemektedir. Bu çalışma, Türkiye'deki mevcut üniversiteler ve akademisyenler hakkında kapsamlı bir veri görselleştirme yapabilmek amacıyla Neo4j graf veri tabanının kullanımını ele almaktadır. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından elde edilen veriler ile 2191 düğüm ve 2124 tane düğümler arası ilişki oluşturularak, üniversiteler, akademik birimler ve akademisyenler arasındaki ilişkiler görselleştirilmektedir. Yapılan çalışma, akademik ağların daha iyi anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmada uygulamanın geliştirilme süreci, veri toplama yöntemleri, kullanılan teknik araçlar ve analiz yöntemleri detaylı olarak sunulmaktadır. Elde edilen bulgular, Türkiye'deki akademik yapının daha etkili bir şekilde analiz edilmesine ve görsel olarak modellenmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma Neo4j'nin eğitim ve araştırma verilerinin görselleştirilmesi için güçlü bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Neo4j, Çizge ağlar, Çizge modelleme, Çizge veri tabanı, Akademik ağlar.

### Modeling Academic Data with Neo4j Graph Database

**Abstract:** The amount of data generated by the technology that is evolving every day is reaching gigantic proportions. Data, together with its relationship to other data, forms the most powerful and meaningful information. One of the remarkable points is that the relationship between data is more important than the data itself. These relationships are handled efficiently by relational databases. However, handling large amounts of data with their relationships is a tedious process. Graph databases simplify the entities and relationships of relational databases with the nodes and relationships of graph databases. This study deals with the use of Neo4j graph database in order to make a comprehensive data visualisation about existing universities and academics in Turkey. With the data obtained from the Council of Higher Education (YÖK), 2191 nodes and 2124 relationships between nodes are created and the relationships between universities, academic units and academics are visualised. The study aims to provide a better understanding of academic networks. In the study, the development process of the application, data collection methods, technical tools used and analysis methods are presented in detail. The findings allow for a more effective analysis and visual modelling of the academic structure in Turkey. In conclusion, this study demonstrates that Neo4j is a powerful tool for visualising educational and research data.

**Keywords:** Neo4j, Graph networks, Graph modeling, Graph database, Academic networks.

## 1. Giriş

İnternetin gelişmesi ve teknolojideki ilerlemeler, büyük ve karmaşık veri kümelerinin analizi, görselleştirilmesi, araştırma ve yönetim süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Verilerin boyutunun ve birbirine bağlılığının artmasıyla, veri sorgularının depolanması, bağlantısı, kullanılabilirliği, güvenliği ve yanıt süresi gibi parametreler dikkate alınması gereken zorluklardır. Teknolojideki ilerleme, insanlar arasındaki iletişimin yoğunlaşmasını mümkün kılmaktadır ve en önemli teknolojik devrim şüphesiz sosyal ağlarda

\* Sorumlu Yazar: brnpolatt@gmail.com. Yazarların ORCID numaraları: <sup>1</sup>0000-0002-1564-0604, <sup>2</sup>0009-0002-3912-1873, <sup>3</sup>0000-0002-2901-2342, <sup>4</sup>0000-0002-6113-4649,

ve çevrimiçi platformlarda gerçekleşmektedir. Yüksek hacimli sosyal ağ etkinliği büyük veriye sebep olmasıyla birlikte [1], bir veri tabanında saklanması harcanan zamanda da önemli bir artış anlamına gelmektedir [2].

Veri tabanları verilere daha kolay bir şekilde ulaşılabilmesi için verileri sınıflandırarak yönetmeyi sağlamaktadır. Yaygın olarak kullanılan veri tabanları ilişkisel veri modelini temel alan ilişkisel veri tabanlarıdır. En sık kullanılan veri tabanları olsa da büyük miktarda veri depolamak istenildiği durumlarda ilişkisel veri tabanlarının kullanımları üstesinden gelinmesi gereken zorluklardandır. İlişkisel veri tabanlarını kullanırken veri bütünlüğünü sağlamak amacıyla, veri kayıplarının ve tutarsızlığının önlenmesi gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte çizge veri tabanları, bu tür karmaşık verilerin ilişkilerini ve bağlantılarını etkili bir şekilde temsil edebilme yetenekleri sayesinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır [3]. Neo4j, Infinite, Graph, DEX, InfoGrid, HyperGraphDB, Trinity vb. gibi bir dizi yüksek performanslı çizge veri tabanı bulunmaktadır [4]. Neo4j, bu alanda öne çıkan bir çizge veri tabanı olup, verilerin düğümler ve kenarlar olarak modellenmesine olanak tanımakta ve bu sayede veriler arasındaki ilişkilerin kolayca analiz edilmesini sağlamaktadır [5]. Veriden ziyade veriler arası ilişkilere odaklanmaktadır. Neo4j gibi grafik veritabanı sistemleri, akademik personelin faaliyetlerini ve ilişkilerini modellemek ve analiz etmek için önemli bir araçtır. Akademik dünyada, üniversiteler ve akademisyenler arasındaki ilişkiler, araştırmaların ve bilimsel iş birliklerinin başarısı için kritik öneme sahiptir [6]. Son yıllarda akademik yayınlar ve araştırmalar hızla artmakta, ancak bunların yalnızca bir kısmı büyük etki yaratmaktadır. Bu nedenle, akademik başarı faktörlerinin analizi, üniversiteler, araştırmacılar ve için büyük önem taşımaktadır. Büyük verilerin ön planda olduğu günümüzde, akademik veriler de oldukça değerlidir ve bu verilerin doğru analizi, eğitim ve araştırma politikalarının şekillendirilmesinde hayati rol oynamaktadır [7].

Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından sağlanan akademik veriler, Türkiye'deki üniversiteler, fakülteler, bölümler ve akademisyenler hakkında kapsamlı bilgiler sunmaktadır. Bu verilerin Neo4j gibi grafiksel veri tabanları kullanılarak analiz edilmesi ve görselleştirilmesi, akademik yapının daha iyi anlaşılmasını sağlayabilmektedir. Neo4j'nin sunduğu esnek ve doğal veri modelleme yetenekleri sayesinde, bu tür karmaşık ve bağlantılı veriler, daha anlaşılır ve interaktif bir şekilde sunulabilmektedir [8]. Akademik verilerin analizi, üniversitelerin ve akademisyenlerin performansını değerlendirmek ve potansiyel işbirliklerini belirlemek için önemlidir [9]. Neo4j ile yapılan görselleştirmeler, akademik dünyadaki temel etkenleri detaylı bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Bilgiler arasındaki ilişkiler çok sayıda olduğunda, geleneksel veri tabanları istenilen performansı gösterememekle birlikte bu ilişkilerin yönetimi zorlaşmaktadır. Neo4j gibi çizgesel veri tabanları, bu zorlukların üstesinden gelerek akademik verilerin etkin bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından sağlanan veriler kullanılarak Türkiye'deki üniversiteler ve akademisyenler arasındaki ilişkileri detaylı bir şekilde görselleştirmektir. Neo4j grafiksel veri tabanı kullanılarak üniversiteler, akademik birimler ve akademisyenler arasındaki ilişkiler modellenmektedir. Akademik yapılar ve araştırma işbirlikleri hakkında değerli içgörüler sunmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, çizge veri tabanlarının ve gelişen teknolojilerin eğitim ve araştırma alanlarındaki uygulamaları konusunda önemli bir örnek teşkil etmektedir. Akademik kurumlar, araştırmacılar için değerli bilgiler sunan bu çalışma, aynı zamanda gelecekteki araştırmalar için de bir temel oluşturmaktadır.

Çalışmada ilk olarak literatürde yapılan çalışmalara değinilmekte ve Neo4j ile yapılan çalışmalar Tablo 1'de gösterilmektedir. Üçüncü bölümde grafiksel veri tabanlarının ve Neo4j'nin temel özellikleri ve avantajları ele alınmaktadır. Dördüncü bölümde YÖK verilerinin toplanması ve entegrasyonu süreci açıklanmakta ve bu verilerin Neo4j'ye nasıl aktarıldığına değinilmektedir. Son olarak, bu çalışmanın eğitim ve araştırma verilerinin görselleştirilmesi ve katkıları sonuç bölümünde sunulmaktadır.

## 2. Literatür alışması

Büyük veri kapsamında karmaşık ve farklı formattaki verilerin analizi bir çok zorluğu beraberinde getirmektedir. Geniş veri kaynaklarına sahip sistemler, bu zorlukların üstesinden gelebilmek için yeni yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Grafik analizi ve görselleştirme, üstün ve esnek özellikleri sayesinde güçlü bir teknik olarak ortaya çıkmaktadır. Çizge görselleştirme, büyük veride karşılaşılan birçok problemi ele almasının yanısıra etkili bir görselleştirme ile daha kolay anlaşılabilme yeteneği kazandırmaktadır. izgeler ile veri analizi bilgisayar bilimi, matematik, fizik, kimya, genetik ve sosyal bilimler gibi birçok farklı alanda yer edinmektedir [10].

Tablo 1: Neo4j ile gerçekleştirilen çalışmaların incelenmesi

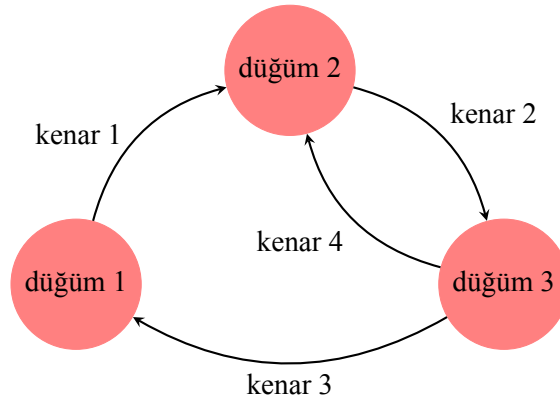
Referans	Yıl	Uygulama Alanı	Amaç
[11]	2020	Tedarik zinciri	Neo4j çizge veritabanı kullanarak UMKM satış verilerini modellemek
[12]	2020	Akademik ağlar	Neo4j ile Myanmar'daki Bilgisayar Üniversitesi'nin ortak yazar ağı yapısını incelemek
[13]	2020	Spor	Neo4j kullanarak Çin'de spor alanında bilgi grafiklerini geliştirmek ve verimliliğini artırmak
[14]	2020	Doğal Afet	Neo4j graf veritabanını kullanarak felaket bilgisi grafiğini görselleştirilmek
[15]	2021	Akademik ağlar	Neo4j graf veri tabanı ile Akademik bir sosyal ağ modelini görselleştirilmek
[16]	2021	Ulaşım	Neo4j veritabanı ile GTFS verilerini kullanarak güzergah planlama yapmak
[17]	2021	Turizm	Akıllı turizm chatbot geliştirme amacıyla Neo4j graf veritabanı kullanılması amaçlanmaktadır.
[18]	2022	Sağlık	Akciğer kanseri hücre verilerini modellemek ve analiz etmek için Neo4j çizge veritabanı kullanılması üzerinde çalışılmaktadır.
[19]	2022	Siber güvenlik	Siber tehdit istihbarat verilerinin analiz edilmesi için grafik görselleştirme kullanmak
[20]	2023	Performans metrikleri	Nebula Graph, Neo4j, ve TigerGraph veri tabanlarının performansını karşılaştırmak
[21]	2023	Siber güvenlik	Siber güvenlik ve zafiyet analizi yapma amacıyla Neo4j graf veritabanında açık kaynak istihbarat verilerinin kullanılması
[22]	2023	Ulaşım	Neo4j veri tabanı kullanılarak trafik güvenliği uygulaması üzerine bir model geliştirmek
[23]	2023	Ulaşım	Neo4j ve derin öğrenme kullanarak trafik sıklıklağı simülasyonu ve optimizasyonu görselleştirilmesi
[24]	2023	Biyoloji	Neo4j ile bitki protein-protein etkileşim ağlarını depolamak ve analiz etmeye yönelik bir görselleştirme yapılması
[25]	2023	Bilim	izge veri biliminin bilimsel çalışmalardaki gücünü incelemesi
[26]	2024	Biyoinformatik	Sistem biyolojisi ve işaretleme dili verilerinin kullanılarak Neo4j ile analiz yapılması
[27]	2024	Tedarik zinciri	Neo4j ile müşteri satın alma kalıplarının görselleştirilerek analiz edilmesi ve ürün önerileri geliştirilmesi
[28]	2024	Eğlence	Neo4j çizge veritabanının kullanarak sinema verilerinin analiz edilmesi ve modellenmesi
[29]	2024	Kriptoloji	Neo4j kullanarak SIMON şifreleme algoritmasını analiz etmek ve bilgi grafikleri oluşturmak

Değerli, yapmış olduğu tez çalışmasında akademik bilgi sistemlerinde karşılaşılan telif hakları intihal gibi bir takım problemlere ilişkin çizge veri tabanı modellemesi için Neo4j platformunu kullanmaktadır. Akademik bir yayın ve referans veri tabanı oluşturarak bu problemlere çözüm sunmayı amaçlamaktadır [30]. Sholeh ve ark. yaptıkları çalışmada UMKM (Mikro, Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler) satış verileri Neo4j çizge veritabanı kullanılarak modellenmekte ve analiz edilmektedir. Çalışmanın amacı, satış verilerini daha etkili bir şekilde modelleyerek ve karşılaştırarak, UMKM'lerin iş süreçlerini ve karar verme mekanizmalarını iyileştirmektir. Neo4j'ün sağladığı ilişkiyel veri modelleme kapasitesi, karmaşık veri yapılarının daha anlaşılır ve kullanılabilir hale getirilmesine yardımcı olmaktadır [11]. Aung ve Nyun, Myanmar'daki Bilgisayar Üniversitesi'nde gerçekleştirdikleri bu çalışmada, ortak yazar ağı yapısını incelemek ve görselleştirmek için Neo4j kullanılmaktadır. Araştırmanın amacı, akademik iş birliklerini ve ilişkileri daha iyi anlayarak, üniversitenin araştırma ağını optimize etmektir. Neo4j'ün grafik veritabanı özellikleri sayesinde, araştırmacılar arasındaki işbirlikleri ve ortaklıklar etkili bir şekilde haritalanmakta ve analiz edilmektedir [12]. Zhu ve ark. esnek iş atölyesi çizelgeleme sorununu çözmek için Neo4j tabanlı yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın amacı, iş önceliği, stok ve zaman kısıtlamalarını içeren karmaşık üretim planlama problemlerini çözmektir. Neo4j, bu problemde kullanılan semantik graf modeli ve ontolojiyi entegre ederek, tüm yaşam döngüsü verilerini temsil edebilmekte ve dönüştürebilmektedir. Çalışma, otomatik dönüşüm mekanizması ve simülasyon tabanlı karar kolonisi algoritması ile üstün çizelgeler elde etmeyi başarmaktadır [31]. Yi ve ark., geleneksel kullanıcı tabanlı işbirlikçi filtreleme algoritması kullanılarak bir film öneri sistemi geliştirmektedirler. Sistem, kullanıcı-proje puanlama matrisini önceden doldurmada ve karmaşık ilişkileri yönetmekte başarılı olan çizge veritabanı teknolojisini kullanmaktadır. Veri görselleştirmede, bir filmin öneri derecesi düğüm boyutu ve kenar kalınlığı ile ifade edilerek kullanıcı deneyimi iyileştirilmektedir [32]. Soylu ve ark., akademik dergi makalelerindeki tutum belirteçlerinin kullanımını tanımda yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Araştırmanın amacı, akademik yazılardaki tutum belirteçlerini daha doğru ve kapsamlı bir şekilde tespit etmektir. Neo4j'ün çizge veri tabanı özellikleri, bu tür verilerin ve ilişkilerin etkin bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımaktadır [10]. Liu ve ark. tarafından yapılan bu çalışma, tayfun felaket bilgisi grafiği oluşturmak için Neo4j çizge veri tabanını kullanmaktadır. Araştırmanın amacı, tayfun felaketlerine ilişkin geniş veri setlerini anlamlandırarak afet yönetim süreçlerini iyileştirmektir. Neo4j, bu karmaşık veri ilişkilerini etkin bir şekilde modelleyerek afet hazırlık ve müdahale stratejilerinin optimize edilmesine yardımcı olmaktadır [14]. Değerli, akademik bir sosyal ağ modeli oluşturmak için Neo4j çizge veri tabanı kullanılmaktadır. Araştırmanın amacı, akademisyenler arasındaki işbirlikleri ve ilişkileri görselleştirerek akademik ağların dinamiklerini daha iyi anlamaktır. Neo4j'ün sunduğu çizge veri yapıları, bu ilişkilerin ve işbirliklerinin daha net ve detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımaktadır [15]. Daş ve Soylu'nun yapmış olduğu çalışmada, çizge veri biliminin bilimsel çalışmalardaki gücünün incelenmesi amaçlanmaktadır. Araştırmanın amacı, çizge veri bilimini kullanarak bilimsel çalışmalarda yeni analiz ve modelleme yaklaşımları geliştirmektir [25]. Tablo 1 literatürde neo4j kullanılarak yapılan çalışmalara tarihsel bir bakış sunmaktadır. Karmaşık akademik yapılar ve üniversiteler üzerine yapılan mevcut çalışmalara rağmen, bu yapılar içinde yer alan dinamik ilişkilerin görsel analizinin sağladığı bilgi, hala tam olarak değerlendirilememiştir. Özellikle çizge veri tabanları kullanılarak üniversitelerin fakülte, bölüm ve akademisyen seviyesinde detaylı ilişkilerinin modellenmesi, yalnızca mevcut veriyi görmekle kalmayıp, bu veriler arasındaki örüntüleri ve hiyerarşileri daha etkili bir şekilde anlamamıza olanak tanımaktadır. Bu çalışmanın motivasyonu, klasik veri tabanı yaklaşımlarından farklı olarak, üniversitelerin iç yapısındaki ilişkilerin ve bu ilişkilerin sunduğu bilgilerin görselleştirilmesidir. Bu tür bir yaklaşım, özellikle çok katmanlı organizasyonlarda, verilerin kullanıcı dostu bir formatta sunulmasıyla veri analizi süreçlerine yeni bir bakış açısı kazandırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, Türkiye'deki üniversiteler ve akademik birimler arasında yeni ilişkiler

keşfetmek ve bu alanlardaki daha derinlemesine analizler için bir zemin oluşturmaktadır.

### 3. Çizgesel Veri Tabanı

Çizge veri tabanları, verileri düğümler ve bu düğümler arasındaki ilişkiler (kenar) şeklinde modelleyip saklayan veri tabanı türleridir [5]. Bu veri tabanları, özellikle karmaşık ve yoğun bağlantılı veri kümeleriyle çalışmak için optimize olarak sunulmaktadır [33]. Çizge veri tabanlarının temel özelliklerinden biri, Şekil 1’de görüldüğü gibi düğümler ve kenarlar arasındaki ilişkileri doğrudan temsil etmeleridir. Düğümler, varlıkları temsil ederken, kenarlar bu varlıklar arasındaki ilişkileri ifade eder. Bu yapı, veriler arasındaki ilişkileri hızlı ve etkili bir şekilde sorgulamayı ve analiz etmeyi mümkün kılmaktadır.



Şekil 1: Çizge görünümü

Çizge veri tabanlarının bir diğer önemli özelliği esneklikleridir. Yeni düğüm veya kenar türleri eklemek, veri tabanı yapısında değişiklikler yapmak son derece kolaydır. Bu esneklik, özellikle hızlı değişen ve büyüyen veri ortamlarında büyük avantaj sağlamaktadır. Çizge veri tabanları ayrıca yüksek performans sunmasının yanı sıra; karmaşık sorguları ve analizleri hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Bu da, özellikle sosyal ağ analizi, öneri sistemleri, biyoinformatik ve dolandırıcılık tespiti gibi alanlarda kullanılmalarını ideal kılmaktadır. Bunun yanı sıra, çizge veri tabanları veri bütünlüğünü ve ilişkilerin tutarlılığını koruma konusunda da oldukça başarılıdır. Geleneksel ilişkisel veri tabanlarından farklı olarak, veriler arasındaki ilişkilerin daha doğal ve doğrudan bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır. Bu da, verilerin daha anlamlı ve kullanışlı bir şekilde modellenmesine olanak tanır. Aşağıda bazı çizge veri tabanları özellikleri ve yapılarından bahsedilmektedir.

**ArangoDB:** triAGENS GmbH tarafından geliştirilen çok modelli bir veri tabanı sistemidir. Veriler grafik, belge, anahtar-değer ve sütun tabanlı olarak saklanabilir ve bunların hepsine AQL (ArangoDB Sorgu Dili) sorgulama dili ile erişilebilmektedir. AQL, SQL benzeri bir sorgulama dilidir ve karmaşık sorgulamaları kolaylaştırmaktadır. ArangoDB, tüm veri modelleri için aynı çekirdeği ve aynı sorgu dilini kullanmaktadır. Farklı veri modellerini tek bir sorguda birleştirmek, verilerin karmaşıklığını azaltmaktadır [34]. Bu çoklu model, basitleştirilmiş performans ölçeklendirmesi, artırılmış esneklik, hata toleransı, büyük miktarda depolama belleği ve diğer veritabanlarına göre daha düşük maliyete sahip olması nedeniyle başarı oranı yüksektir. ArangoDB, dağıtılmış çok modelli bir veri tabanı olarak büyük veri kümelerini işleyebilmektedir. Web ve mobil uygulamalarında karmaşık veri yapıları ve ilişkilerini yönetmek için idealdir. IoT sistemlerinde çeşitli veri kaynakları etkili bir şekilde entegre edilebilmektedir. Karmaşık ilişkisel verileri işleyebilir ve analiz edebilir dolayısıyla sosyal ağlar ve öneri sistemleri için de

idealdir.

**OrientDB:** 2011 yılında Orient Technologies tarafından Java’da uygulanarak başlandı. Belgeler, grafikler, anahtar/değer ve nesnelere veri modellerini destekleyen, çok modelli, açık kaynaklı bir NoSQL veri tabanı yönetim sistemidir. Dağıtık mimariyi desteklemektedir. Yatay ölçeklendirme için tasarlandığından büyük ölçekli uygulamalar için uygundur. Fiziksel veri saklama işlemi bellekte ve diskte yapılabilmektedir [35]. Kolay kullanım ve entegrasyon için SQL benzeri sorgular kullanılmaktadır. OrientDB, kimlik doğrulama, parola ve atıl veri şifreleme kullanımıyla mevcut tüm gizli verilerde güvenlik sağlamaktadır. OrientDB’nin, dolandırıcılık tespiti, ağ/BT işlemleri, grafik arama, öneri motorları, ana veri yönetimi, kimlik yönetimi ve adli analiz gibi bir çok kullanım alanı bulunmaktadır [36].

**Amazon Neptune:** Amazon Web Services (AWS) tarafından sunulan tam yönetimli bir grafik veritabanı hizmetidir. Yüksek performanslı ve ölçeklenebilir olmasıyla öne çıkan Neptune, bağlı veri uygulamaları oluşturmak için optimize edilmiştir. RDF ve Property Graph modellerini desteklemektedir, bu sayede SPARQL ve Gremlin sorgu dillerini kullanarak veri tabanı işlemleri yapılabilmektedir. Veri bütünlüğü ve tutarlılığı sağlayan ACID uyumlu işlemler sunar ve otomatik yedekleme, güvenlik, ve yüksek kullanılabilirlik gibi yönetimsel özellikler barındırmaktadır [37]. Bu esneklik ve performans, sosyal ağlar, öneri motorları, bilgi grafikleri gibi uygulamalar için idealdir.

Tablo 2: Popüler çizge veritabanlarının özellik karşılaştırması

Özellik	Neo4j	Amazon Neptune	JanusGraph	OrientDB	ArangoDB	TigerGraph
<b>Model</b>	Doğrudan graf	RDF ve Property Graph	Property Graph	Multi-model (Graf, Document)	Multi-model (Graf, Document)	Property Graph
<b>Sorgulama Dili</b>	Cypher	SPARQL, Gremlin	Gremlin, SPARQL	SQL, Gremlin	AQL (ArangoDB Query Language)	GSQL
<b>Ölçeklenebilirlik</b>	Orta-Büyük	Büyük	Büyük	Orta	Orta	Büyük
<b>Performans</b>	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta-Yüksek	Yüksek
<b>Dağıtık Mimari</b>	Mevcut, ancak sınırlı	Tam destek	Tam destek	Kısmen destek	Tam destek	Tam destek
<b>Kullanım Alanları</b>	Sosyal Ağlar, Öneri Sistemleri	Biyoinformatik, Finans	Büyük veri analitiği	Çok modelli veri uygulamalar	Çok modelli veri uygulamalar	Büyük veri analitiği
<b>Kullanıcı Arayüzü</b>	Güçlü, kullanıcı dostu	Yönetim konsolu	Apache TinkerPop destekli	Web arayüzü	Web arayüzü	Güçlü, kullanıcı dostu

**JanusGraph:** Açık kaynaklı, dağıtık bir grafik veritabanıdır ve özellikle büyük ölçekli grafik veri modelleri için tasarlanmıştır. Apache TinkerPop çerçevesi ile uyumludur ve Gremlin sorgu dili kullanılarak sorgulama yapılabilir. Yüksek esneklik ve ölçeklenebilirlik sunmakta, bu da onu sosyal ağlar, biyoinformatik, bilgi grafikleri ve IoT gibi veri yoğun uygulamalar için ideal hale getirmektedir [38]. JanusGraph, HBase, Cassandra, ve BerkeleyDB gibi çeşitli depolama arka uçlarıyla çalışabilmekte ve Elasticsearch, Solr gibi arama motorları ile entegre olabilmektedir. Bu özellikleri, performans ve veri bütünlüğünü garanti etmektedir.

**TigerGraph:** Yüksek performanslı ve dağıtık bir grafik veritabanıdır. Büyük veri kümeleri ve karmaşık sorgular için optimize edilmiştir ve yatay olarak ölçeklenebilir bir mimariye sahiptir. Gerçek zamanlı analitik işlemleri desteklemektedir ve GraphQL gibi kullanıcı dostu sorgulama dillerini kullanmakta-

dır [38]. Gelişmiş veri akışı analitiği yetenekleri sunar ve derin grafik sorguları için güçlü bir altyapıya sahiptir. Finans, sağlık, telekomünikasyon, siber güvenlik ve IoT gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, geliştiriciler için kapsamlı SDK ve API seçenekleri sunmaktadır.

**Neo4J:** Java’da uygulanan açık kaynaklı bir grafik veri tabanıdır. Neo4j işlemsel bir veri tabanı ve yapıları tablolar yerine grafikler biçiminde depolayabildiğimiz kalıcı bir Java motorudur. Kullanılan dil Cypher, karmaşık grafik sorgularını basit ve anlaşılır hale getiren SQL benzeri bir dildir [36]. Yeni düğüm ve kenar türleri kolayca eklenebilir, bu da veri modelleme esnekliği sağlamaktadır [39]. Büyük veri içerisinde pek çok bağlantı bulunmaktadır. Neo4j, görsel etkileşimli grafikleri sayesinde bunlar arasındaki iç içe geçmiş bağlantıların bulunmasına yardımcı olur. Neo4j, verileri son derece disiplinli bir şekilde yönetme ve saklama özgürlüğü sağlayan yerel grafik depolamayı kullanmaktadır. Neo4j gerçek zamanlı öneriler, kimlik ve erişim yönetimi, ağ ve BT operasyonları, dolandırıcılık tespiti, bilgi grafikleri, grafik destekli yapay zeka, akıllı evler ve IoT gibi bir çok uygulama senaryosu için uyarlanabilmektedir.

Tablo 2’de bu veri tabanlarının yapısal özelliklerinin karşılaştırılması verilmektedir. Yaptığımız çalışmada kullanıcı arayüzünün güçlü ve kolay anlaşılabilir yapısından dolayı Neo4j çizge veri tabanı tercih edilmektedir. Kullanılan veri setinin orta büyüklükte bir veri seti olması ve Neo4j’nin esnek yapısına uygun olması iyi bir tercih olduğunu göstermektedir.

#### 4. Yöntem ve Uygulama

Neo4j kolay ve esnek yapısıyla bir çok avantaja sahiptir. Verilerin düğüm ve ilişki formunda hızlıca veri temsilleri oluşturulabilmektedir. Çalışmamızda YÖK websitesinden toplanan veriler; üniversiteler, akademisyenler ve akademisyenlere ait bilimsel çalışmalar düğümler olarak modellenmekte ve düğümler arasına bağlantılı ilişkiler atanmaktadır. Çalışmayı yaparken Şekil 2 ’de gösterilen adımlar takip edilmektedir.

1. **Veri Toplama:** Başlangıç aşamasında verilerin hangi yöntem ile toplanacağı hangi formatta kaydedileceği araştırılması gereken zorluklardandır. Çalışmamızda YÖK websitesinden web scraping yapılarak üniversiteler, akademisyenler ve onların çalışmaları hakkında veriler toplanmaktadır.

- Web scraping, web sitelerinden veri çekme işlemidir. Otomatik araçlar kullanarak, genellikle programlama dilleri ve kütüphaneler (Python, BeautifulSoup, Selenium gibi) yardımıyla web sayfalarındaki veriler toplanır, işlenir ve analiz edilir. Web scraping, büyük veri kümelerine hızlı erişim sağlamak ve bu verileri farklı formatlarda (CSV, JSON vb.) kaydetmek için kullanılır. Bu yöntem, veri analizi, makine öğrenimi modelleri oluşturma, fiyat karşılaştırma, pazar araştırması ve daha birçok alanda faydalıdır.

Tablo 3: Düğümler ve aralarındaki ilişkiler

Düğüm	İlişki	Bağlantılı düğüm
YÖK	üniversitesi	FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FIRAT ÜNİVERSİTESİ	FAKÜLTESİ	TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ	bölümü	YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ
YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ	AKADEMİSYENİ	R.D.

YÖK web sitesinden çekilen veri kümesinde, YÖK ve YÖK’e bağlı üniversite isimleri herbiri birer düğümü temsil etmektedir. Üniversiteler arasından Fırat Üniversitesi’ne ait fakülteler ve bu

fakülterle bağılı bölümler de düğüm temsillerini oluşturmaktadır. Ek olarak fakülte bölümlerinde mevcut bulunan akademisyenler de düğümlerin gerikalanıdır. Tablo 3’de düğümler ve aralarındaki ilişkiler gösterilmektedir, ancak çalışmadaki bütün düğüm isimlendirmelerini göstermek mümkün olmadığı için çalışmanın detayı anlaşılması bakımından bir kaç genel düğüm ve aralarındaki ilişki ismi belirtilmektedir. Tablo da düğüm ve ilişki isimleri belirtilirken, Neo4j’deki çizge isimlerine sadık kalınarak büyük ya da küçük harf kullanılmaktadır.

Veri kümesi kapsamında 2191 düğüm ve 2124 tane düğümler arası ilişki bulunmaktadır. Veri kümesinde bulunan düğüm sayısı Şekil 3’te görüldüğü gibi Cypher sorgu dili kullanılarak öğrenilebilmektedir.



Şekil 3: Sorgu sonucu düğüm sayısı

2. **Veri Aktarımı:** Toplanan veriler CSV formatında kaydedilip, Şekil 4’te görülen kod bloğu kullanılarak Jupyter Notebook ve Neo4j veri tabanı arasındaki veri aktarımı gerçekleştirilmektedir.

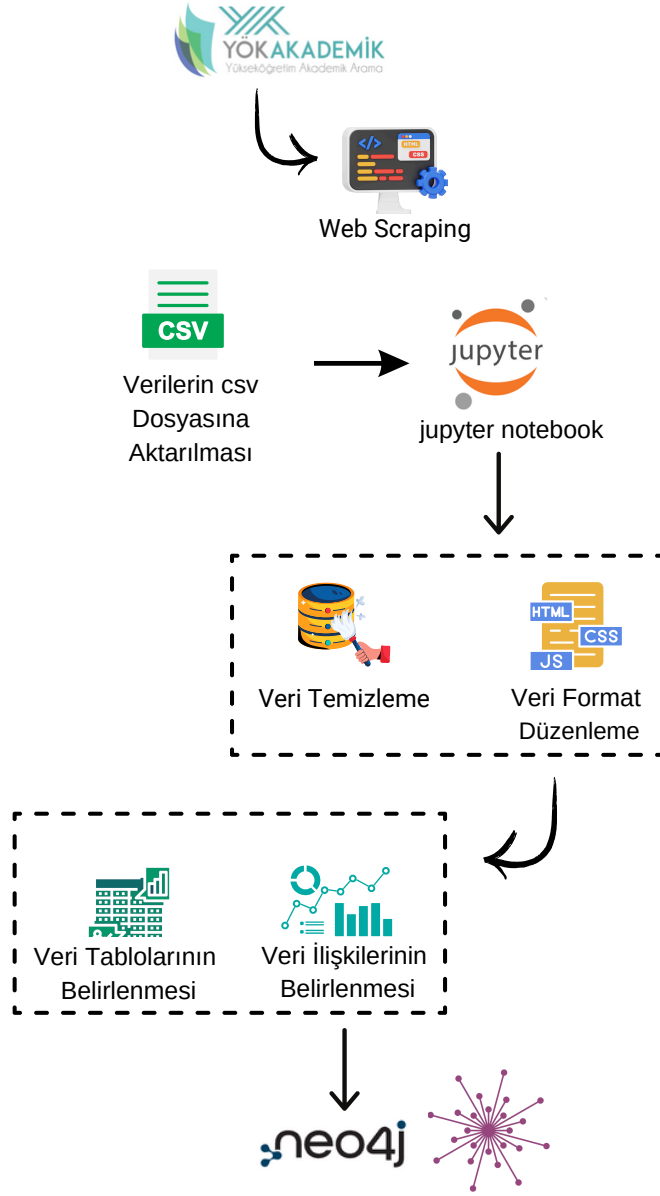
```
import pandas as pd
from neo4j import GraphDatabase
# Neo4j bağlantısı
host = 'bolt://localhost:7687'
user = 'neo4j'
password = '123456789'
driver = GraphDatabase.driver(host, auth=(user, password))
```

Şekil 4: Neo4j ve Jupyter notebook arasındaki bağlantı kodu

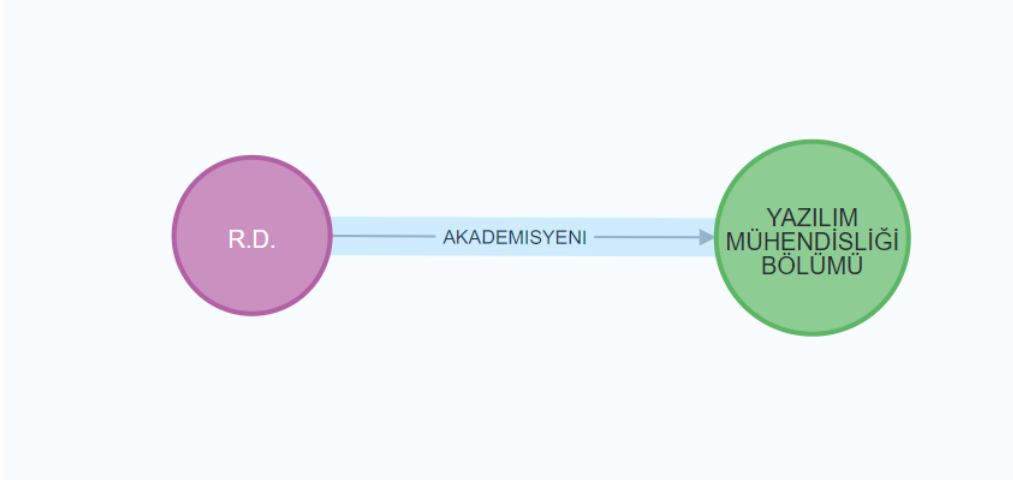
Verilerinin toplanmasından sonraki adım, veri kümesinin eksik, tutarsız verilerden temizlenmesidir. Tutarsız düğüm adları, bağlantısı olmayan veri düğümleri yada tekrarlanan veriler giderilmelidir. Farklı formatlarda bulunan verilerin normalleştirilmesi yapılmalıdır. Kısacası veri seti Neo4j veri tabanına aktarılmadan önce hazır hale getirilmelidir.

3. **Veri Modelleme:** Bu adımda düğümler ve aralarındaki ilişkiler tanımlanmaktadır. Veri tabloları oluşturulup, varlıklar arasındaki ilişkiler açık bir şekilde belirlenmelidir. Örneğin, bir üniversite düğümü ile bir fakülte düğümü arasında "fakültesi" ilişkisi oluşturulmaktadır. Şekil 5’de görüldüğü gibi iki farklı düğüm ve aralarında ilişkisel bağlantı bulunmaktadır. "R.D." düğümü "YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ" ile "Akademisyeni" ilişkisi kurulmaktadır.





Şekil 2: YÖK akademik verilerinin Neo4j çizge veritabanı ile modellenme adımları



Şekil 5: Dğümler ve aralarındaki ilişki

	un_adi	un_sehir	un_turu	un_aCilisYil	rektor_ismi
0	ABDULLAH GUL UNIVERSITESI	KAYSERI	DEVLET	2010	PROF.DR. C.Y.
1	ACIBADEM MEHMET ALI AYDINLAR UNIVERSITESI	ISTANBUL	VAKIF	2007	PROF.DR. A.S.
2	ADANA ALPARSLAN TURKES BILIM VE TEKNOLOJI UNIV...	ADANA	DEVLET	2011	PROF.DR. M.T.
3	ADIYAMAN UNIVERSITESI	ADIYAMAN	DEVLET	2006	PROF.DR. M.K.
4	AFYON KOCATEPE UNIVERSITESI	AFYONKARAHISAR	DEVLET	1992	PROF.DR. M.K.
...	...	...	...	...	...
203	YEDITEPE UNIVERSITESI	ISTANBUL	VAKIF	1996	None
204	YILDIZ TEKNİK UNIVERSITESI	ISTANBUL	DEVLET	1982	PROF.DR. T.Y.
205	YOZGAT BOZOK UNIVERSITESI	YOZGAT	DEVLET	2006	PROF.DR. E.Y.
206	YUKSEK İHTİSAS UNIVERSITESI	ANKARA	VAKIF	2013	PROF.DR. K.S.
207	ZONGULDAK BULENT ECEVİT UNIVERSITESI	ZONGULDAK	DEVLET	1992	PROF.DR. İ.H.O.

208 rows × 5 columns

Şekil 6: Üniversite Bilgileri

Üniversitelerin sahip olduğu fakülteler, bölümler ve akademisyen bilgilerini içeren veri üzerinde "Üniversite Bilgilerini" içeren çıktı Şekil 6'te gösterilmektedir.

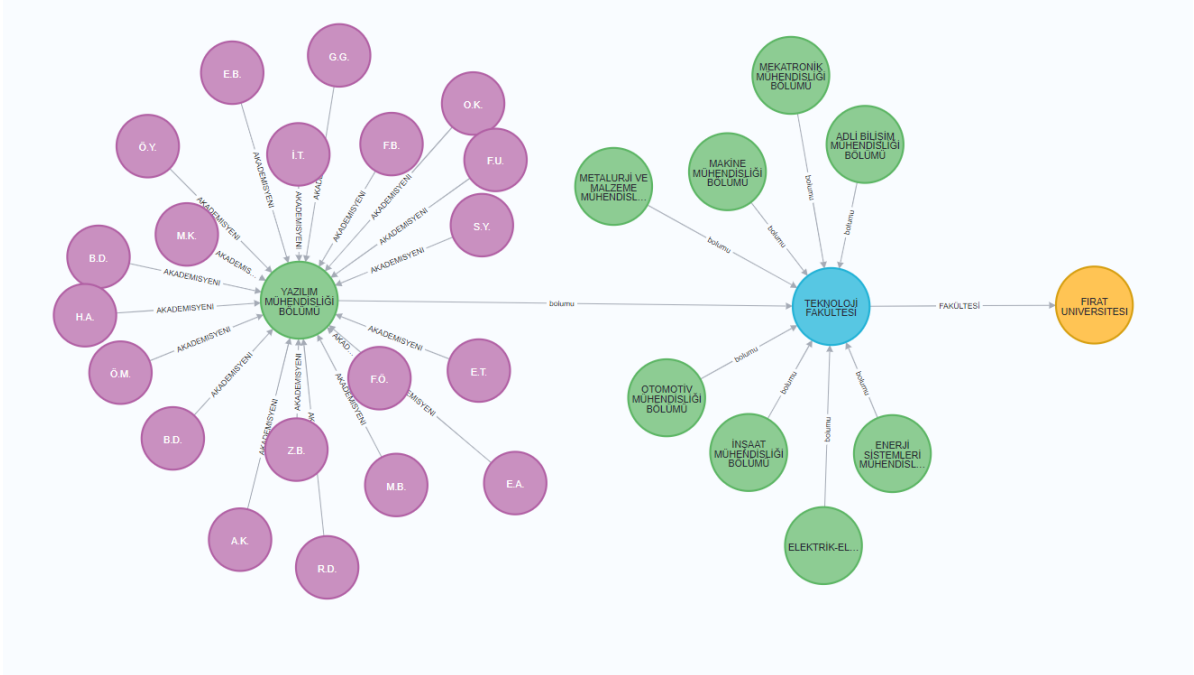
4. **Veri Analizi:** Cypher sorgu dili kullanılarak çeşitli analizler gerçekleştirilmektedir. Örneğin, belirli bir üniversitedeki tüm akademisyenler sorgulanabilir. Akademisyenin hangi üniversitede hangi bölümde olduğu öğrenilebilir. Şekil 7'de veri tabanına sorgu gönderme fonksiyonu gösterilmektedir.

Cypher sorgulama dili ile SQL birbirinden farklı özellikler gösterebilmektedir. Cypher dilinde

```
# Veritabanına sorgu gönderme fonksiyonu
def run_query(query):
    with driver.session() as session:
        result = session.run(query)
        return pd.DataFrame([r.values() for r in result], columns=result.keys())
```

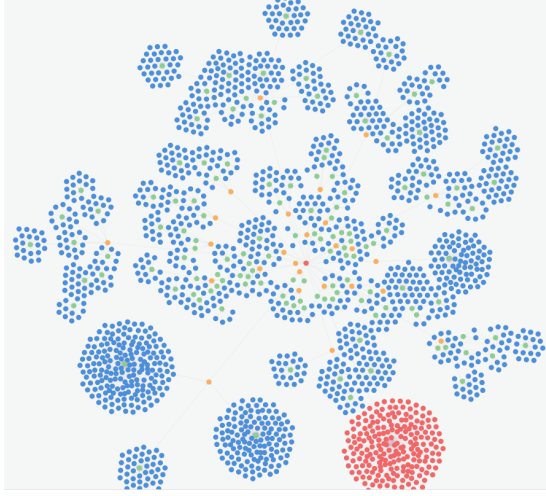
Şekil 7: Veritabanına sorgu gönderme fonksiyonu

MATCH ve WHERE gibi yaygın kelimeler kullanılmaktadır. MATCH, aranan örüntüdeki yapıyı ilişkilere dayandırarak açıklamaktadır. WHERE belirlenmiş kalıpların kısıtlamalarını ekleyebilmek için kullanılmaktadır. Veri yazmak, güncellemek ve silmek için özellikler bulunmaktadır. CREATE ve DELETE, düğümleri ve ilişkileri oluşturmak ve silmek için kullanılmaktadır. Örneğin; ” \$MATCH (n:FAKULTE) WHERE n.name = 'TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ' RETURN n ” sorgu cümlesi ile Şekil 8’de Teknoloji Fakültesinin bağlı bulunduğu üniversite ve kendisine bağlı olan düğüm kümeleri ve bu düğümlerle aralarındaki ”bölümü” ilişkisi görülmektedir. Şekil 9, a’da veritabanında yer alan bütün düğüm ve ilişkiler gösterilmektedir. b’de ise sorgu limitinin 25 olduğu bir görsel alan bulunmakta, YÖK ve bağlı bulunan üniversiteler gösterilmektedir.

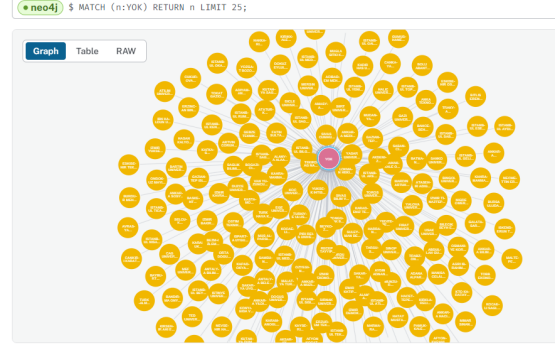


Şekil 8: Teknoloji Fakültesi isimli düğüm bağlantıları

Neo4j görselleştirme aracı, kullanıcıların veri üzerinde etkileşimli bir şekilde çalışmasına olanak tanımaktadır. Belirli düğümler ve bağlantılar tıklanarak daha derinlemesine analiz yapılabilmektedir. Şekil 10’da olduğu gibi düğüm üzerine tıklayınca sağ bölmede düğümün özelliklerine ulaşılabilmektedir.

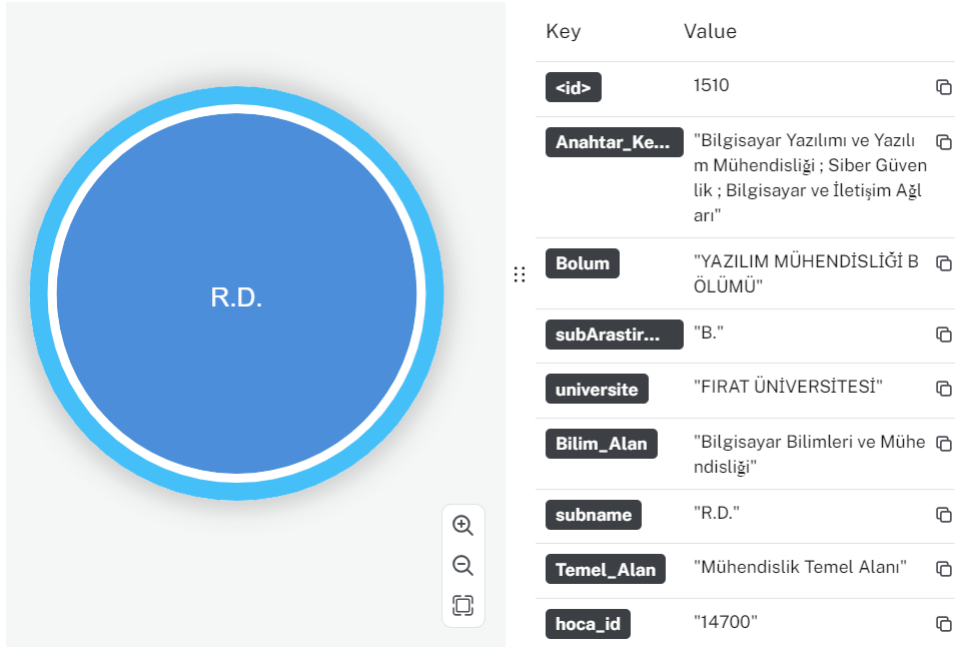


(a) Limitsiz Sorgu



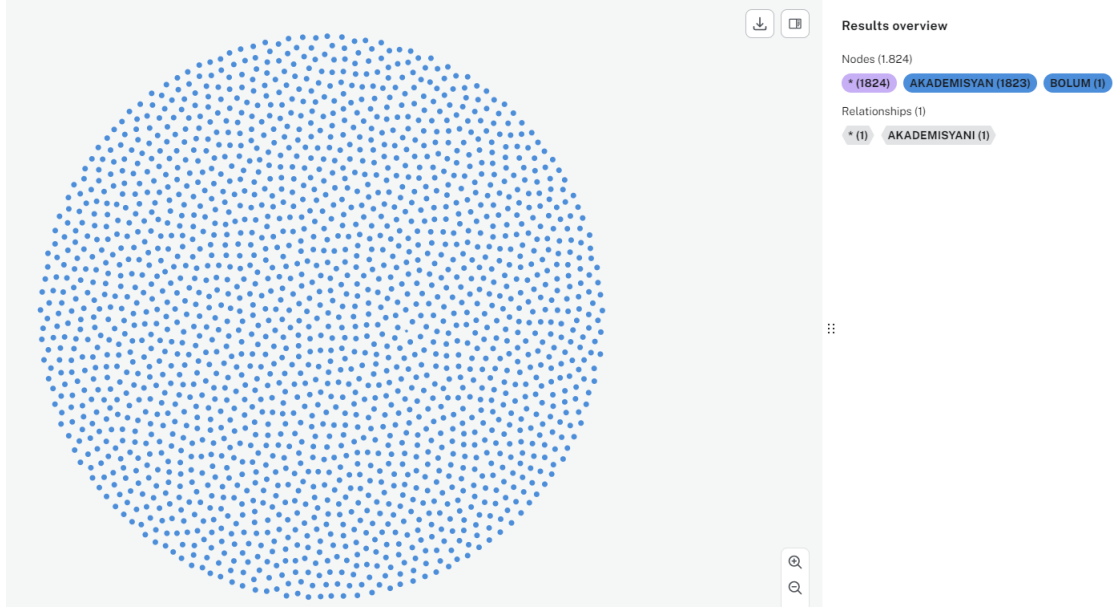
(b) Sorgu limiti 25 olan sorgu

Şekil 9: Cypher sorgulama dili çıktısı

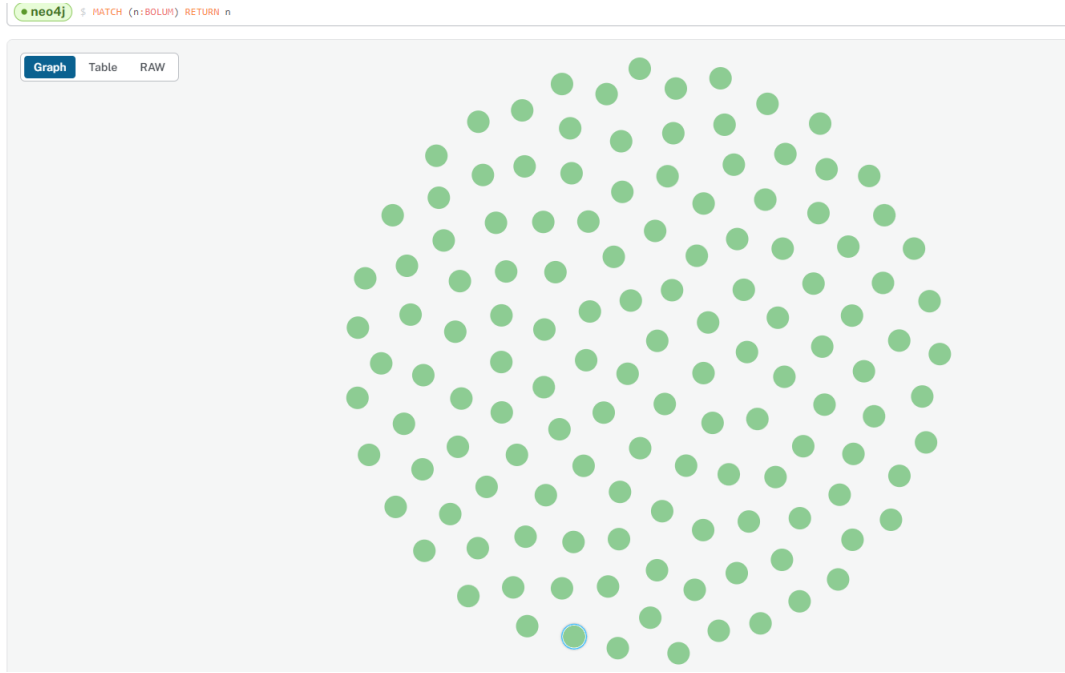


Şekil 10: Düğüm bilgileri

5. **Veri Görselleştirme:** 2191 Düğüm ve 2124 ilişki ile oluşan veri seti Neo4j kullanılarak, verilerin görselleştirilmesi sağlanmaktadır. Neo4j’de veri görselleştirme, verilerin daha iyi anlaşılmasını ve analiz edilmesini sağlar, karmaşık ilişkileri ortaya çıkarır ve veri ile ilgili içgörülerini güçlendirir. Şekil 11’de sorgu sonucu Fırat Üniversitesinde bulunan akademisyenler gösterilmektedir. 1823 düğüm bulunduğu yani veritabanında Fırat Üniversitesine ait 1823 veri kaydı olduğu görülmektedir. 12’de Fırat Üniversitesine ait bölümlerin sorgusu görüntülenmektedir.

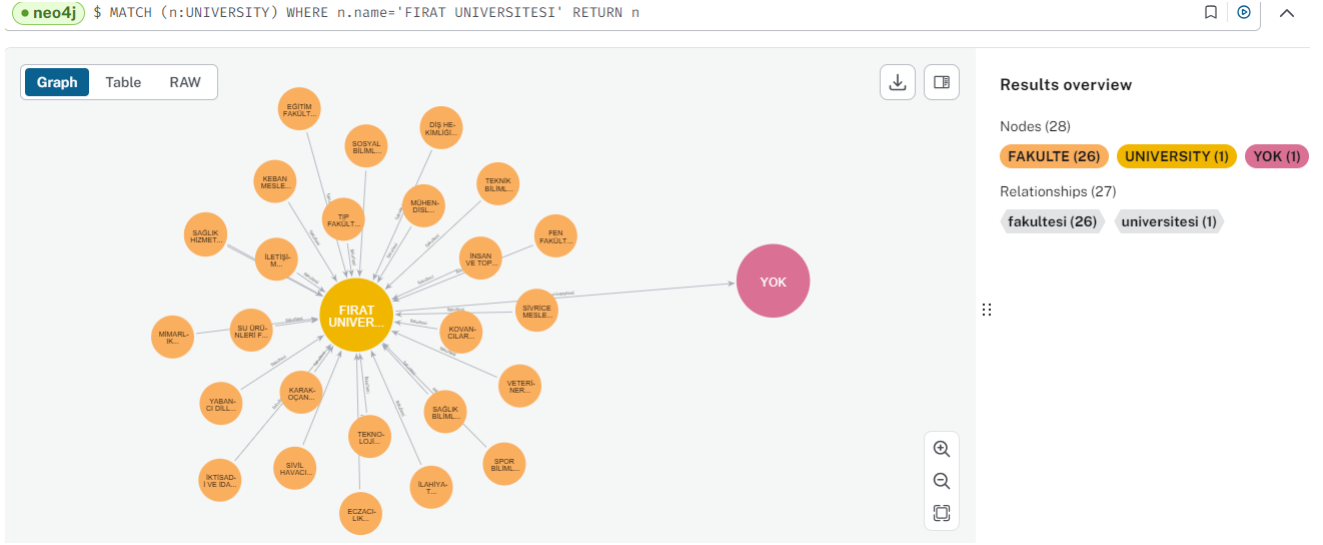


Şekil 11: Fırat Üniversitesinde bulunan akademisyenler



Şekil 12: Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bölümleri

Veritabanındaki karmaşık ilişkiler ve bağlantılar, grafik olarak gösterildiğinde daha kolay anlaşılır hale gelmektedir. Neo4j Şekil 13’de olduğu gibi ”FIRAT ÜNİVERSİTESİ” düğümünün ve diğer düğümler ile olan alaka düzeyi ilişkiler ile belirlendikten sonra görselleştirilip veriyi daha anlaşılır kılmaktadır.



Şekil 13: Veri düğüm temsilleri ve ilişkileri

## 5. Sonuç

Günümüzde akademik dünyada veriler hızla büyümekte ve bu veriler arasındaki ilişkiler daha karmaşık hale gelmektedir. Yalnızca verilerin kendisine odaklanmak yerine, bu veriler arasındaki ilişkileri anlamak ve analiz etmek büyük önem taşımaktadır. Geleneksel veri tabanları, bu karmaşık ilişkileri modellemekte ve yönetmekte yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, YÖK web sitesinden çekilen üniversite, fakülte, bölüm ve akademisyen verileri Neo4j kullanılarak görselleştirilmektedir. Görselleştirme süreci, özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde, veriler arasındaki ilişkileri anlamayı kolaylaştırmaktadır. Üniversiteler, fakülteler ve bölümler arasındaki hiyerarşik yapı ve akademisyenlerin bu yapılar içindeki konumları Neo4j ile daha net bir şekilde ortaya konulmaktadır. Görselleştirme, veri yapısının anlaşılmasında büyük bir katkı sağlamak ve ileride yapılacak analizler için değerli bir başlangıç noktası sunmaktadır. Özellikle Fırat Üniversitesi üzerine yoğunlaşarak yapılan bu çalışmada, farklı fakülteler, bölümler ve akademisyenler arasındaki ilişkilerin görsel olarak ortaya konması, bu verilerin analiz edilmesi gerektiğinde daha etkin sorgulamalar yapılmasını kolaylaştıracak önemli bir adımdır. Neo4j'nin sağladığı görselleştirme avantajı, veri tabanındaki düğümler ve ilişkilerin daha net bir şekilde incelenmesine olanak tanımakta, görsel araçların analiz süreçlerine katkısını gözler önüne sermektedir. İleride yapılacak çalışmalar, bu verilerin analiz edilerek akademik yapıların dinamikleri hakkında daha kapsamlı çıkarımlar yapılmasına olanak sağlayabilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen görselleştirmeler, Türkiye'deki üniversiteler ve akademik yapılar hakkında genel bir bakış sunmakla birlikte, daha ileri analizlerle desteklenerek, bu yapılar arasındaki ilişkilerin daha derinlemesine incelenmesi için bir temel oluşturmaktadır. Görselleştirme, karar alıcıların ve araştırmacıların büyük veri setlerini daha kolay anlamalarına yardımcı olan güçlü bir araç olarak kendini göstermektedir.

## 6. Bilgilendirme

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı doktora öğrencisi Berna ÇENGİZ'in Doktora Tezi, TÜBİTAK tarafından "2211-C Öncelikli Alanlar Yurt İçi Doktora Burs Programı" kapsamında desteklenmektedir.

### Kaynaklar

- [1] Sagioglu S, Sinanc D, Big data: A review, 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013; 42-47. doi: 10.1109/CTS.2013.6567202.
- [2] Kumar P, Huang HH, Graphone: A data store for real-time analytics on evolving graphs, ACM Transactions on Storage (TOS), 2020; 15(4): 1-40.
- [3] Besta M, Gerstenberger R, Peter E, Fischer M, Podstawski M, Barthels C, Alonso G, Hoefler T, Demystifying graph databases: Analysis and taxonomy of data organization, system designs, and graph queries, ACM Computing Surveys, 2023; 56(2): 1-40.
- [4] Turgay S, Eren K, Graph database for agent based emergency response model, The 2014 International Conference on Advances in Big Data Analytics (ABDA) & ICOMP, 2014.
- [5] Miller JJ, Graph database applications and concepts with Neo4j, Proceedings of the Southern Association for Information Systems Conference, 2013; 2324(36): 141-147.
- [6] Afandi MI, Wahyuni ED, University research graph database for efficient multi-perspective data analysis using Neo4j, 2020 6th Information Technology International Seminar (ITIS), 2020; 286-290.
- [7] Bürhan Y, Daş R, Akademik veritabanlarından yazar-makale bağlantı tahmini, Politeknik Dergisi, 2017; 20(4): 787-800.
- [8] Hodler AE, Needham M, Graph data science using Neo4j, in: Massive Graph Analytics, Chapman and Hall/CRC, 2022; 433-457.
- [9] İnce K, Karcı A, Akademik işbirliklerinin yeni bir çizge olarak modellenmesi ve istatistiki analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2019; 34(1): 439-460.
- [10] Soylu M, Soylu A, Daş R, A new approach to recognizing the use of attitude markers by authors of academic journal articles, Expert Systems with Applications, 2023; 230: 120538. doi: 10.1016/j.eswa.2023.120538.
- [11] Sholeh M, Rachmawati RR Y, Susanti E, Pemodelan basis data graph dengan Neo4j (Studi Kasus: Basis Data Sistem Informasi Penjualan pada UMKM), Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan, 2020; 7(1): 25-32. doi: 10.25047/jtit.v7i1.129.
- [12] Aung TT, Nyunt TTS, Community detection in scientific co-authorship networks using Neo4j, 2020 IEEE Conference on Computer Applications (ICCA), 2020; 1-6. doi: 10.1109/ICCA49400.2020.9022826.
- [13] Xu Z, Xu T, Zhang F, Construction of chinese sports knowledge graph based on Neo4j, 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT), 2020; 561-564. doi: 10.1109/ICCASIT50869.2020.9368851.
- [14] Liu P, Huang Y, Wang P, Zhao Q, Nie J, Tang Y, Sun L, Wang H, Wu X, Li W, Construction of typhoon disaster knowledge graph based on graph database Neo4j, 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), 2020; 3612-3616. doi: 10.1109/CCDC49329.2020.9164384.

- [15] Değerli A, Ağ toplumu yaklaşımı ile akademik bir sosyal ağ modeli için graf veri tabanı önerisi, *Beykoz Akademi Dergisi*, 2021; 9(1): 68-88. doi: 10.14514/BYK.m.26515393.2021.9/1.68-88.
- [16] Vágner A, Route planning on GTFS using Neo4j, *Annales Mathematicae et Informaticae*, 2021; 54: 163-179. doi: 10.33039/ami.2021.07.001.
- [17] Kim DH, Im HS, Hyeon JH, Jwa JW, Development of the rule-based smart tourism chatbot using Neo4J graph database, *International Journal of Internet, Broadcasting and Communication*, 2021; 13(2): 179–186.
- [18] Tuck D, A cancer graph: a lung cancer property graph database in Neo4j, *BMC Research Notes*, 2022; 15(1): 45. doi: 10.1186/s13104-022-05912-9.
- [19] Sülü M, Daş R, Graph visualization of cyber threat intelligence data for analysis of cyber attacks, *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2022; 10(3): 300-306. doi: 10.17694/ba-jece.1090145.
- [20] Monteiro J, Sá F, Bernardino J, Experimental evaluation of graph databases: JanusGraph, Nebula Graph, Neo4j, and TigerGraph, *Applied Sciences*, 2023; 13(9): 5770. doi: 10.3390/app13095770.
- [21] Pelofske E, Liebrock LM, Urias V, Cybersecurity threat hunting and vulnerability analysis using a Neo4j graph database of open source intelligence, 2023; doi: 10.48550/arXiv.2301.12013.
- [22] Yuan D, Zhou K, Yang C, Architecture and application of traffic safety management knowledge graph based on Neo4j, *Sustainability*, 2023; 15(12): 9786. doi: 10.3390/su15129786.
- [23] Singh SP, Khan AA, Souissi R, Yusuf SA, Leveraging Neo4j and deep learning for traffic congestion simulation & optimization, 2023; doi: 10.48550/arXiv.2304.00192.
- [24] Kumar N, Mukhtar S, Building protein–protein interaction graph database using Neo4j, *Protein-Protein Interactions: Methods and Protocols*, Springer US, New York, NY, 2023; 469-479. doi: 10.1007/978-1-0716-3327-4-36.
- [25] Das R, Soylu M, A key review on graph data science: The power of graphs in scientific studies, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2023; 240: 104896. doi: 10.1016/j.chemolab.2023.104896.
- [26] Gricourt G, Duigou T, Dérozier S, Faulon JL, neo4jsbml: import systems biology markup language data into the graph database Neo4j, *PeerJ*, 2024; 12: e16726. doi: 10.7717/peerj.16726.
- [27] Dermawan F, Kwang CH, Adijanto MD, Rakhmawati NA, Basara NR, Product recommendations through Neo4j by analyzing patterns in customer purchases, 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETISIS), 2024; 1-4. doi: 10.1109/ICETISIS61505.2024.10459357.
- [28] Tangalay Dalgın G, Daş R, Sinema verilerinin Neo4j çizge veritabanı ile modellenmesi ve analizi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 2023. doi: 10.24012/dumf.
- [29] Cook J, Rehman S, Khan MA, Cryptanalysis of the SIMON cypher using Neo4j, 2024. doi: 10.48550/arXiv.2405.04735.



- [30] Değerli A, Ağ Toplumu bağlamında Bilginin paylaşımına yönelik akademik yayın ve referans Sistemleri: Neo4j platformunda graf veritabanı uygulaması, PQDT - Global, 2014; 285. doi: 9798515213640.
- [31] Zhu Z, Zhou X, Shao K, A novel approach based on Neo4j for multi-constrained flexible job shop scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*, 2019; 130: 671-686. doi: 10.1016/j.cie.2019.03.022.
- [32] Yi N, Li C, Feng X, Shi M, Design and implementation of movie recommender system based on graph database, 2017 14th Web Information Systems and Applications Conference (WISA), 2017; 132-135. doi: 10.1109/WISA.2017.34.
- [33] Huang H, Dong Z, Research on architecture and query performance based on distributed graph database Neo4j, 2013 3rd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, 2013; 533-536. doi: 10.1109/CECNet.2013.6703379.
- [34] Zaniewicz N, Salamończyk A, Comparison of MongoDB, Neo4j and ArangoDB databases using the developed data generator for NoSQL databases, *Studia Informatica. System and Information Technology*, 2022; 26(1): 61-72.
- [35] Meiling L, Benchmarking Multi-model Databases with ArangoDB and OrientDB, Helsingfors universitet, 2017.
- [36] Fernandes D, Bernardino J, Graph databases comparison: AllegroGraph, ArangoDB, InfiniteGraph, Neo4J, and OrientDB, 7th International Conference on Data Science, Technology and Applications, Porto, Portugal, 2018, pp. 373-380. doi: 10.5220/0006910203730380.
- [37] Bebee BR, Choi D, Gupta A, Gutmans A, Khandelwal A, Kiran Y, Mallidi S, McGaughy B, Personick M, Rajan K, et al., Amazon Neptune: Graph data management in the cloud, ISWC (P&D/Industry/BlueSky), 2018.
- [38] Lopes A, Rodrigues D, Saraiva J, Abbasi M, Martins P, Wanzeller C, Scalability and performance evaluation of graph database systems: a comparative study of Neo4j, JanusGraph, Memgraph, NebulaGraph, and TigerGraph, 2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), 2023, ss. 537–542.
- [39] Sandell J, Asplund E, Ayele WY, Duneld M, Performance comparison analysis of ArangoDB, MySQL, and Neo4j: an experimental study of querying connected data, 2024.