



## KAMU MALİ YÖNETİMİNİN DENETİMİNDE İSTATİSTİKSEL ANOMALİ TESPİTİ: BENFORD YASASI VE ALTERNATİF YÖNTEMLER

### *STATISTICAL ANOMALY DETECTION IN THE AUDIT OF PUBLIC FINANCIAL MANAGEMENT: BENFORD'S LAW AND ALTERNATIVE METHODS*

Büşra ÇİÇEKLİ<sup>1</sup>  
Dürdane KÜÇÜKAYCAN<sup>2</sup>

#### ÖZ

Kamu mali yönetiminde dijitalleşme; izlenebilirlik, karşılaştırılabilirlik ve veri erişilebilirliği artırarak denetimin kapsamını ve yöntemlerini köklü şekilde dönüştürmektedir. Kurumsal kaynak planlama ve e-satınalma sistemleri, API tabanlı uygulamalar ve bulut ortamındaki zaman damgalı kayıtlar, örneklemeye dayalı dönemsel denetim anlayışından sürekli izleme ve risk temelli modellere geçişi mümkün kılmaktadır. Bu ortamda anomali tespiti, olağandışı tutar ve zaman kümelenmeleri, işlem parçalamaları, birim fiyat sapmaları ve basamak dağılımı düzensizlikleri üzerinden temel bir denetim aracı hâline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, kamu mali yönetiminin denetiminde istatistiksel anomali tespitini Benford Yasası ile alternatif ve/veya tamamlayıcı yöntemler çerçevesinde ele almak, farklı veri ekosistemlerine uyarlanabilecek katmanlı ve aşamalı bir uygulama yaklaşımı ortaya koymaktır. Bu kapsamda Benford Yasası ile diğer istatistiksel ve veri analitiği temelli yöntemler, kuramsal dayanakları ve uygulama kriterleri bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, denetimde en yüksek faydanın farklı yöntemlerin birlikte kullanıldığı katmanlı

- 1- Sayıştay Başdenetçisi, Sayıştay Başkanlığı, busra.akduman@sayistay.gov.tr, ORCID: 0009-0006-7040-5160
- 2- Doç. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İİBF, Maliye Bölümü, durdane@ogu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5515-2616.

**Gönderim/Submitted:** 10.02.2026 **Revizyon/Revised:** 19.03.2026 **Accepted/Kabul:** 19.03.2026  
**Corresponding/Sorumlu Yazar:** Çiçekli, B.

**Atıf/To Cite:** Çiçekli, B. ve Küçükaycan, D. (2026). Kamu Mali Yönetiminin Denetiminde İstatistiksel Anomali Tespiti: Benford Yasası ve Alternatif Yöntemler. Sayıştay Dergisi, 37(140), 131-162. <https://doi.org/10.52836/sayistay.1886248>

ve hibrit bir anomali tespit mimarisi ile sağlanabileceğini ve bu yaklaşımın kamu mali yönetiminde hesap verebilirlik ve mali saydamlığın güçlendirilmesine katkı sağlayacağını göstermektedir.

## **ABSTRACT**

Digitalization in public financial management has fundamentally transformed the scope and methods of public auditing by enhancing traceability, comparability, and data accessibility. Enterprise resource planning (ERP) and e-procurement systems, API-based applications, and time-stamped records in cloud environments enable a transition from sampling-based, periodic audits to continuous monitoring and risk-based audit models. In this evolving environment, anomaly detection has become a central audit instrument, facilitating the identification of unusual amount and temporal clusters, transaction splitting practices, unit price deviations, and irregularities in digit distributions. The aim of this study is to address statistical anomaly detection in the audit of public financial management within the framework of Benford's Law and alternative and/or complementary methods, and to present a layered and phased application approach that can be adapted to different data ecosystems. In this context, Benford's Law and other statistical and data analytics-based methods are evaluated comparatively in terms of their theoretical foundations and application criteria. The findings indicate that the greatest benefit in auditing can be achieved with a layered and hybrid anomaly detection architecture that uses different methods together, and that this approach will contribute to strengthening accountability and financial transparency in public financial management.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Denetim Kurumları, Kamu Mali Yönetimi, Denetim, Anomali tespiti, Benford Yasası.

**Keywords:** Supreme Audit Institutions, Public Fiscal Management, Auditing, Anomaly detection, Benford Law.

## **GİRİŞ**

Günümüzde dijitalleşme ve işlem hacimlerindeki hızlı artış, Yüksek Denetim Kurumlarını (YDK) veri odaklı denetim kapasitelerini yeniden tanımlamaya zorlamaktadır. Farklı kaynaklardan, değişken kalite ve yüksek hacimlerde üretilen mali verilerden zamanında, eyleme dönük ve tekrarlanabilir denetim sinyalleri elde edebilme yeteneği, çağdaş kamu denetiminin belirleyici unsurlarından biri haline gelmiştir. Bu bağlamda olağandışı, beklenmedik veya kural dışı örüntülerin nesnel biçimde belirlenmesini sağlayan istatistiksel anomali tespiti, veri temelli denetimin temel araçları arasında yerini almıştır (Hodge ve Austin, 2004; Chandola vd., 2009). Anomali tespitine yönelik

yaklaşımlardan olan Benford Yasası da düşük maliyetli, yorumlanması görece kolay ve geniş veri kümelerine hızla uygulanabilir bir ön tarama aracı olarak denetim literatüründe güçlü bir yer edinmiştir.

İlk basamak rakamlarının teorik dağılımına dayanan Benford Yasası, büyük hacimli sayısal veri kümelerinde olası manipülasyonları ve tutarsızlıkları işaret eden, düşük maliyetli ve hızlı bir ön tarama mekanizması sunmaktadır (Benford, 1938; Nigrini, 2012). Ancak yöntemin bulguları, veri üretim süreçleri, muhasebe uygulamaları ve ölçeklendirme tercihleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle Benford Yasası, tek başına bağlayıcı denetim kanıtı değil riskli alanların önceliklendirilmesini sağlayan bir ön tarama ve sinyal aracı olarak kullanılmalıdır (Durtschi vd., 2004).

Anomali tespitinde çok yöntemli ve katmanlı yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Regresyon tabanlı kıyaslama, Z-skor, sağlam uzaklık ölçüleri ve zaman serisi analizleri, yanlış pozitif ve yanlış negatif dengelerinin politika hedefleriyle uyumlu biçimde yönetilmesine olanak tanımaktadır (Rousseuw ve Hubert, 2018). Büyük veri analitiği ve Yapay Zekâ (YZ) tabanlı yöntemler, ölçeklenebilirlik ve karmaşık örüntüleri yakalamada avantajlar sağlamaktadır (Popoola, 2023; Shalhoob vd., 2024). Blokzincir tabanlı denetim izleri ise işlem bütünlüğünü güçlendirerek anomali sinyallerinin işlem anında doğrulanmasına imkân tanımaktadır (Nakamoto, 2008).

Bu çalışmanın amacı, kamu mali yönetiminin denetiminde istatistiksel anomali tespitini Benford Yasası ile alternatif ve tamamlayıcı yöntemler çerçevesinde ele almaktır. Çalışma, tekil bir "en iyi" yöntem önermek yerine, farklı veri ekosistemlerine uyarlanabilecek katmanlı ve aşamalı bir uygulama yaklaşımı ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu kapsamda Benford Yasası ve anomali tespitine yönelik diğer yöntemler, kuramsal dayanakları ve uygulama kriterleri bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

## 1. KAMU MALİ YÖNETİMİNİN DENETİMİNDE DİJİTALLEŞME VE VERİ TEMELLİ DÖNÜŞÜM

Kamusal mali saydamlık beklentilerinin artması, veri hacmi ve çeşitliliğinin genişlemesi ile karar süreçlerinin hızlanması, YDK'ları geleneksel gözlem ve güvence rolünün ötesinde veri temelli ve proaktif bir denetim anlayışına yöneltmektedir. Bu dönüşüm, denetim süreçlerinin yalnızca teknolojik

araçlarla desteklenmesini değil kurumsal strateji, insan kaynağı, bilgi altyapısı ve iş süreçlerini kapsayan bütüncül bir yeniden yapılanmayı gerektirmektedir. Artan veri işleme kapasitesi ve anlık izleme imkânları, geleneksel denetim yaklaşımlarının tek başına yeterli kanıt ve etki üretmesini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle veri analitiği, büyük veri yönetimi, süreç otomasyonu ve gerçek zamanlı raporlama gibi unsurların denetim tasarımına sürdürülebilir biçimde entegre edilmesi zorunlu hâle gelmiştir. Söz konusu entegrasyonun, denetim bulgularının zamanlılığını ve niteliğini artırarak kamusal faydayı güçlendireceği; saydamlık ve hesap verebilirlik ilkelerinin kurumsal düzeyde daha etkin uygulanmasına katkı sağlayacağı açıktır (Köse ve Polat, 2022: 29).

### **1.1. Kamu Mali Yönetiminin Denetiminde Dijital ve Fonksiyonel Dönüşüm**

Dijital dönüşümün sürdürülebilirliği, kurumun stratejik yönelimi, örgütsel yapısı, teknolojik altyapısı ve insan-kültür dinamiklerinin uyumuna bağlıdır. Ota ve Bracci (2022: 261), dönüşüm süreçlerini türlerine göre sınıflandırarak bu karşılıklı bağımlılığı vurgulamaktadır. Özellikle kültürel uyum geciktiğinde, dönüşüm girişimlerinin yenilik üretme kapasitesi azalmakta ve "kültür boşluğu" inovasyon önünde engel oluşturmaktadır. Buna karşın, veri yönetişimi altyapısını güçlendiren ve denetçi yetkinliklerini sistemli programlarla geliştiren Sayıştaylar, inovasyon laboratuvarları (örneğin Avrupa Sayıştay'ının ECALab veya ECA Innovation Lab'i ile ABD Sayıştay'ının GAO Innovation Lab'i) ve analitik uygulamaları sayesinde dijital olgunluk düzeylerine daha hızlı erişebilmektedir.

Denetim alanındaki dijital dönüşüm, sunduğu potansiyel kazanımlarla birlikte önemli belirsizlikler de yaratmaktadır. Denetçiler, büyük veri analitiğinin kamu değerini artıracığı yönündeki beklentilerini; mevcut risk odaklı denetim çerçevesinin zedelenebileceği ve kurumsal bağımsızlıklarının aşınabileceği endişeleriyle birlikte değerlendirmek zorundadır. Norveç Sayıştay'ını konu alan bir nitel vaka analizi, söz konusu ikilemin YDK'ların meşruiyet arayışını güçlendirirken aynı zamanda daha ihtiyatlı ve temkinli adımlar atmalarına yol açtığını ortaya koymaktadır (Volodina ve Grossi, 2025: 1458). Bu bağlamda yeni teknolojiler, denetim faaliyetlerinin etkinliğini artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte mevcut denetim sistemleri ve kurumsal bağımsızlık açısından yeni risk alanları da üretmektedir.

Sürdürülebilir dönüşüm için YDK'ların denetim bulgularını sistematik değerlendirme ve içsel öğrenme döngüleri ile süreçlere geri besleme kapasitesini kurumsallaştırması önemlidir. Uyarlanabilir risk göstergeleri, algoritmik modeller ve saydam bilgi ağları, denetim fonksiyonlarının etkinliğini artırırken kamusal değerlerin korunmasını sağlamaktadır. Uygulamada başarı sağlayan örnekler, kapasite inşasının yalnızca teknoloji yatırımıyla sınırlı kalmadığını açıkça göstermektedir. OECD'nin (2022: 55) Meksika Sayıştay'ına ilişkin incelemesi; verilerin düzenlenmesi ve yönetilmesi için oluşturulan merkezi veri mimarisi, bu verileri işleyerek yenilikçi çözümler üreten analitik laboratuvarlar ve farklı uzmanlık alanlarını bir araya getirerek kurumsal etkiyi artıran disiplinlerarası çalışma grupları sayesinde denetim kapasitesinin önemli ölçüde güçlendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca verilerin toplanması, işlenmesi, saklanması ve paylaşılması süreçlerinde veri etiği ilkelerinin açık biçimde tanımlandığı kurumsal ortamlarda, paydaş güveninin belirgin şekilde arttığı tespit edilmektedir.

Söz konusu bulgular, YDK'ların dönüşümünün; stratejik öngörüyle tasarlanan veri mimarileri, güçlü etik standartlar ve toplum nezdinde güven inşa eden saydam iletişim kanalları doğrultusunda kademeli ve bütüncül bir ilerlemeyi gerektirdiğini göstermektedir. Dijitalleşmeyle birlikte ortaya çıkan bu dönüşüm, denetim faaliyetleri kapsamında üretilen yüksek hacimli ve karmaşık verilerin nasıl analiz edileceği ve hangi ölçütler çerçevesinde "olağandışı" olarak değerlendirileceği sorusunu da gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, denetimde anomali tespiti, dijitalleşmenin analitik boyutunu oluşturan temel bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

## **1.2. Denetimde Anomali Tespiti ve İstatistiksel Yaklaşımların Kuramsal Temelleri**

Anomali tespiti, sistem veya olayların normal davranışından sapmaları belirleyerek anormal durumları ortaya koyan bir süreçtir. Büyük veri ortamlarında, beklenen örüntülerden istatistiksel olarak anlamlı sapmalar, işlem hatası, hile veya sistemsel tutarsızlık gibi kritik denetim sinyalleri taşıyabilir (Zimek ve Filzmoser, 2018). Bu sapmaların anlamlılığı yalnızca matematiksel bir ölçüte dayanmaz; denetimin amacı ile birlikte risk odaklı denetim yaklaşımı ve kurumsal risk değerlendirmeleri çerçevesinde yorumlanır. Kamu mali yönetiminin denetiminde anomaliler; mevzuata, iç kontrol sistemine veya bütçe disiplinine aykırı finansal işlemler olarak ortaya çıkmakta; yetkisiz harcamalar,

olağandışı ödeme kalemleri ve hesap verebilirliği zedeleyen muhasebe kayıtlarını içermektedir. Bu tür nadir ve yüksek etkili işlemlerin büyük veri kümeleri içinde klasik örnekleme yöntemleriyle tespiti sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle kamu harcamalarının izlenmesinde, olağandışı işlem örüntülerini ve riskli davranışları ortaya çıkarabilen veri-temelli otomatik sistemler, denetçilere öngörülü analiz ve erken uyarı kapasitesi sunmaktadır (Özdemir ve Yelboğa, 2025: 775).

Anomali tespit yöntemleri literatürde üç temel ekseninde incelenmektedir: İstatistiksel yaklaşımlar, makine öğrenmesi temelli algoritmalar ve bilgi kuramına dayalı modeller (Chandola vd., 2009: 13). İstatistiksel yöntemler, veri dağılımından sapmaları ölçerken; makine öğrenmesi geçmiş örüntülerden öğrenir; bilgi kuramı tabanlı yöntemler ise entropi veya kodlama maliyeti ile farklılıkları değerlendirir.

Tek değişkenli analizlerde medyan + medyandan mutlak sapma (MAD) veya çeyrekler arası aralık (IQR) gibi sağlam ölçütler, çok değişkenli analizlerde minimum kovaryans determinantı (MCD) ve sağlam temel bileşen analizi, maskelenme ve şişme sorunlarını azaltmaktadır (Rousseeuw ve Hubert, 2018: 1394). Eşik belirleme,  $\alpha/\beta$  hata optimizasyonu ve yoğunluk, mesafe veya kümeleme temelli yöntemler (Isolation Forest, LOF, One-Class SVM) ile desteklendiğinde, denetim bulguları hem duyarlı hem de yorumlanabilir hâle gelmektedir (Hodge ve Austin, 2004: 91).

Denetimde anomali tespiti, tek yönetime dayanan bir süreç olmayıp istatistiksel sağlamlığı yüksek tanımlayıcı ölçütler, mesafe ve yoğunluk temelli yöntemler ile dağılım temelli yaklaşımların birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Uygulamada bu yöntemler çoğunlukla birbirini tamamlayıcı nitelikte kullanılmakta; özellikle büyük ölçekli kamu mali verilerinde hangi işlemlerin ayrıntılı incelemeye tabi tutulacağına karar verilmesinde ön tarama işlevi görmektedir. Bu çerçevede, Tablo 1’de, kamu mali yönetiminin denetiminde yaygın olarak kullanılan başlıca istatistiksel yöntemlerin, temel varsayımları ve denetim açısından sağladıkları katkılar karşılaştırmalı olarak özetlenmektedir.

**Tablo 1:** Kamu Mali Yönetiminin Denetiminde Kullanılan Temel İstatistikî Yöntemler

Yöntem / Kategori	Temel İşlevi / Açıklama	Avantajları	Sınırlılıkları / Zorluklar
<b>Eşik değer ve mesafe tabanlı aykırı gözlem testleri</b> (Z-skor, Mahalanobis, MCD)	Tek değişkenli ve çok değişkenli anomalileri belirler; kritik sınırları aşan işlemleri işaretler.	Basit, hızlı ve yorumlanabilir; sahte pozitifleri azaltır.	Dağılım varsayımları bozulduğunda azalan duyarlılık, yüksek boyutlarda maskelenme ve şişme riski.
<b>Yoğunluk ve komşuluk tabanlı anomali skorlama</b> (LOF, ABOD)	Her kaydın yerel komşularıyla ilişkisini ölçer; düşük yoğunluk veya dar açılı varyansı gösterenler sıra dışı kabul edilir.	Etiketlenmemiş veride örneklem öznelliğini azaltır; çok değişkenli veri için uygundur.	Hesaplama maliyeti yüksek, parametre seçimine duyarlı, yüksek boyutlarda güvenilirlik kaybı.
<b>Parametrik regresyon modelleriyle risk puanlama</b> (Lojistik, Probit, Ordinal Lojistik/Probit)	Finansal oranlar ve yönetim göstergeleri ile olasılık tahmini yapar; risk temelli denetim planlamasına destek olur.	Yorumlanabilir; ROC, çapraz doğrulama ile model performansı izlenebilir.	Sınıf dengesizliği, güçlü varsayım bağımlılıkları, değişken seçimi ve model kurulumuna yüksek duyarlılık.
<b>Sayısal dağılım analizleri</b> (Benford Yasası, $\chi^2$ , Z-istatistiği, MAD)	Basamak dağılımları ve sayısal örüntüler üzerinden olağandışı sapmaları tespit eder.	Hızlı, düşük maliyetli; yuvarlama ve mükerrer işlemleri görünür kılar; ön filtre görevi görür.	Bağılamsal ve çok değişkenli ilişkileri dikkate almama, manipülasyona açıklık, küçük örneklemede duyarlılığın azalması.
<b>Sağlamlaştırılmış tanımlayıcı istatistikler ve sıra tabanlı testler</b> (Robust z-skor, MAD, IQR, Grubbs, Dixon Q)	Çarpık dağılımlarda uç değerleri belirler; küçük örneklemlerde güvenilir sonuç verir.	Düşük maliyetli; hızlı ve açıklanabilir; yüksek boyutlu yöntemlere geçmeden önce ön tarama sağlar.	Çok değişkenli ve bağılamsal anomali yapısını yeterince yansıtmama.

**Kaynak:** Yazarlarca Fawcett (2006); Sharma ve Panigrahi (2013); Emmott vd. (2016); Fulcer vd. (2024); Le ve Mantelaers (2024) ve Yaro vd. (2024)'den yararlanılarak oluşturulmuştur.

Yukarıdaki tabloda özetlenen yöntemler, denetimde anomali tespitinin tek bir tekniğe indirgenemeyeceğini; veri yapısı ve denetim amacına göre bütüncül ve katmanlı bir yaklaşım gerektirdiğini göstermektedir. Bu çerçevede Benford Yasası, büyük ölçekli kamu mali verilerinde dağılım temelli hızlı bir ön tarama sağlayarak riskli alanların belirlenmesinde temel bir başlangıç noktası sunmaktadır.

## 2. BENFORD YASASI: KAMU MALİ YÖNETİMİNİN DENETİMİNDE DAĞILIM TEMELLİ BİR ANOMALİ TESPİT ARACI

Benford Yasası, özellikle büyük hacimli sayısal veri kümelerinde anlamlı rakamların eşit olmayan bir dağılım sergilediğini ortaya koyan ve kamu mali yönetiminin denetiminde anomali tespiti amacıyla kullanılan istatistiksel bir yaklaşımdır. Bu yasa, özellikle mali verilerde olağan örüntülerden sapmaları belirleyerek riskli işlem alanlarının önceliklendirilmesine imkân tanımaktadır.

### 2.1. Benford Yasasının Teorik Temelleri ve İstatistiksel Dayanağı

19. yüzyılın sonlarında astronom Simon Newcomb, logaritma cetvellerinde düşük basamaklı rakamlarla başlayan sayılara ait sayfaların diğer sayfalara göre daha fazla yıprandığını gözlemleyerek sayıların ilk basamaklarının eşit sıklıkta dağılmadığını tespit etmiştir. Newcomb'un (1881: 39) bu gözlemi, 20. yüzyılın başlarında Frank Benford tarafından 20.000'den fazla sayısal veri üzerinde yapılan kapsamlı analizlerle ampirik olarak doğrulanmıştır. Benford'un 1938 yılında yayımladığı "Anormal Sayılar Yasası" başlıklı çalışmasıyla bu logaritmik dağılım kuramsal ve ampirik temelleriyle sistematik biçimde ortaya konmuş ve literatürde "Benford Yasası" olarak anılmaya başlanmıştır.

Benford (1938: 554), ilk basamağın  $d$  olma olasılığını  $P(D_1 = d) = \log_{10}(1 + \frac{1}{d})$  şeklinde formüle etmiştir. Ayrıca bu logaritmik yapının daha yüksek basamaklara da genellenebileceğini göstermiştir. Çok basamaklı analizlerin, yeterli büyüklükte veri kümelerinde daha güçlü istatistiksel testler uygulanmasına olanak sağladığı belirtilmektedir (Nigrini, 1999: 82).

Kuramsal literatürde Benford Yasası, temelde ölçek-invarians ve taban-invarians özellikleri üzerinden açıklanmaktadır. Ölçek-invarians, sayısal değerlerin herhangi bir pozitif sabitle çarpılmasının basamak dağılımını değiştirmemesini ifade etmektedir. Taban-invarians ise farklı sayı tabanlarında da aynı dağılımın korunmasını ifade etmektedir. Pinkham (1961), ölçek-invariansı Benford Yasası'nı normatif olarak gerekçelendiren temel özellik olarak ortaya koymuştur. Hill (1995) ise farklı dağılımlardan tarafsız (ölçek ve taban bakımından nötr) örnekleme altında anlamlı rakam frekanslarının Benford dağılımına yakınsadığını göstererek yasağı olasılıksal bir sınır yasası çerçevesinde açıklamıştır. Bu kuramsal yaklaşımı izleyen çalışmalar, heterojen veri kümelerinde karışım dağılımları ve çarpımsal süreçlerin Benford dağılımını olasılıksal bir "çekim merkezi" hâline getirdiğini ortaya koymuştur (Berger ve Hill, 2020: 791).

Benford Yasası'nın güvenilir sonuçlar üretebilmesi için analiz edilecek veri setleri, sürekli ve birbirinden bağımsız rastgele değişkenler olarak tanımlanmalı; farklı kaynaklardan elde edilen değerler ise çarpımsal zincirler oluşturacak biçimde bir araya getirilmelidir. İncelenecek sayısal büyüklüklerin genel olarak en az 1.000 gözlemden oluşması, ilk iki basamak analizleri için ise asgari 300 gözlemin bulunması önerilmektedir (Durtschi vd., 2004: 19; Nigrini, 2012: 20).

Günümüzün büyük veri ortamlarında, Benford Yasası'nın etkin bir biçimde uygulanabilmesi için veri ön işleme adımları kritik bir rol üstlenir. Özellikle eksik verilerin tamamlanması, uç değerlerin uygun yöntemlerle ele alınması ve veri kümelerinin homojenlik açısından gruplanması gibi işlemler, basamak dağılımı analizinin güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Tek başına ilk basamak testleri iyi bir ön tarama imkânı sunmakla birlikte çok basamaklı analizler ve tamamlayıcı yöntemlerle (zaman serisi trend analizleri vb.) birlikte kullanıldığında anomali tespitinin hassasiyeti ve ayırt edici gücü önemli ölçüde artmaktadır. Bu sayede Benford Yasası hem manuel denetim süreçlerinde hem de otomatik anomali algılama sistemlerinde daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar üretmektedir.

## **2.2. Denetimde Benford Yasası Uygulamaları ve Anomali Tespiti**

Benford Yasası, vergi ve bütçe denetimlerinden sosyal yardım programlarına, yapım işleri sözleşmelerinden performans ölçümüne kadar uzanan geniş bir uygulama alanına sahiptir.

### **2.2.1. Vergi ve Bütçe Denetiminde Anomali Tespiti**

Darhasani ve Usman (2021), 2014-2017 yılları arasında Endonezya'da yerel bir vergi dairesine kayıtlı yaklaşık 150.000 vergi mükellefinin düzenlediği vergi ile ilişkili faturalar üzerinde Benford Yasası'nı uygulamıştır. Analizde faturalar ön elemelerden geçirilmiş, usulsüz veya hatalı olma ihtimali yüksek görülen kayıtlar belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, sektör bazlı risk sınıflandırmasına imkân tanıyarak risk odaklı denetim planlamasının geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Bu yönüyle çalışma, Benford analizinin büyük hacimli verilerde erken uyarı ve filtreleme aracı olarak işlevsel bir rol üstlenebileceğini göstermektedir.

Türkiye bağlamında gerçekleştirilen çalışmalar da benzer sonuçlara işaret etmektedir. Bursa'nın Yıldırım Belediyesinin Aralık 2011 dönemine ilişkin vergi gelir ve gider kayıtlarını Benford dağılımı çerçevesinde analiz eden Boztepe (2013), vergi gelirlerinin Benford dağılımıyla genel olarak tutarlılık gösterdiğini;

buna karşılık gider kayıtlarında özellikle yılsonu işlemlerine bağlı olarak standart dışı sapmalar bulunduğunu ortaya koymuştur. Ulaşılan sonuçlar, dijital analiz tekniklerinin olağan dışı veri örüntülerini tespit etmede kullanılabileceğini ve özellikle dönem sonu yoğunlaşmalarında denetim odağının güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Güner ve Kurnaz (2021) tarafından bir devlet üniversitesinin mali kayıtlarında yer alan 800 Bütçe Gelirleri ve 830 Bütçe Giderleri hesaplarındaki veriler kullanılarak sayıların Benford Kanunu'na uyumu incelenmiştir. Analizde veri setine ilk basamak, ikinci basamak ve ilk iki basamak testleri uygulanmıştır. Sonuçlar, 800 Bütçe Gelirleri hesabında ilk iki basamak testi dışında genel olarak Benford dağılımı ile kabul edilebilir düzeyde uyum bulunduğunu göstermiştir. Çalışmada kamu kurumlarında hile olasılığının özel sektöre göre daha düşük olabileceği belirtilmekle birlikte hata ihtimalinin her zaman var olduğu vurgulanmıştır.

### **2.2.2. Performans Denetiminde Anomali Tespiti**

Cella ve Zanolla (2018), Brezilya'nın Goiás eyaletindeki iki belediyenin sözleşme ve harcama verilerini Benford Yasası çerçevesinde değerlendirmiştir. Bulgular, kurumsal kapasitesi ve saydamlık düzeyi görece daha yüksek olan belediyede veri setlerinin beklenen frekans dağılımına daha yakın seyrettiğini; idari uygulamaların daha sınırlı olduğu belediyede ise sapmaların daha belirgin olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, Benford sapmalarının yalnızca olası usulsüzlük göstergesi olarak değil aynı zamanda kurumsal yapı ve yönetsel uygulamalarla ilişkili bir sinyal olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Yıldız'ın (2018) çalışmasında, 2012 yılı itibarıyla Sağlık Bakanlığı'na raporlanan 1.079 kamu, özel ve üniversite hastanesine ait yönetsel ve performans verileri Benford'un birinci basamak dağılımına tâbi tutulmuştur. Analiz sonuçları, veri kümesinin Benford Yasası ile yüksek düzeyde tutarlılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, yöntemin sağlık tesislerindeki kaynak planlaması ve performans ölçüm süreçlerinde veri doğrulama ve ön inceleme amacıyla kullanılabileceğine işaret etmektedir.

### **2.2.3. Harcama Analizi ve Anomali Tespiti**

Yudhistira ve Nengzih (2021), Endonezya merkezi yönetiminin 2020 yılı sermaye harcamalarına ait yaklaşık 186.000 harcama kaydını Benford Yasası çerçevesinde analiz etmiştir. Sayısal dağılımın beklenen logaritmik örüntüden

sapma gösterdiği kalemler "olası tutarsızlık" göstergesi olarak değerlendirilmiş ve riskli alanların belirlenmesinde ön tarama aracı olarak kullanılmıştır. Bulgular, denetim örnekleminin risk temelli biçimde oluşturulmasına katkı sağlayarak denetim kaynaklarının daha etkin ve hedefli kullanılmasına imkân tanımaktadır. Benzer şekilde Setyawan (2020), Endonezya Ulaştırma Bakanlığı'na ait mal alım harcamalarını Benford dağılımı temelinde incelemiş ve beklenen dağılımdan sapma gösteren kayıtları anomali düzeylerine göre sınıflandırmıştır. Bu yaklaşım, rastgele örnekleme dayalı geleneksel denetim tekniklerinin sınırlılıklarını azaltarak risk odaklı bir önceliklendirme mekanizması sunmaktadır.

Öncü vd. (2018) muhasebe bilgi sisteminin ürettiği verilerin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla Benford Yasasını kullanarak Türkiye'de aynı ilde faaliyet gösteren iki kamu hastanesinin bütçe gelir ve gider hesaplarına birinci basamak, ikinci basamak ve ilk iki basamak testlerini uygulayarak verilerin beklenen dağılıma uyum derecesini incelemiştir. Analiz sonuçlarına göre hastanelerden birinin verileri Benford dağılımıyla uyum gösterirken diğer hastanenin verilerinde uyumsuzluk tespit edilmiştir. Bu durum, uyumsuzluk görülen hastanenin verilerinde anormallik veya olası hata/hile sinyali olabileceğini göstermektedir. Böylece Benford temelli analiz, yüksek hacimli kamu harcama verilerinin sistematik biçimde süzülmesini sağlayan analitik bir filtreleme aracı olarak konumlandırılmaktadır.

#### **2.2.4. Kamu Yapım İşleri ve Sözleşme Denetiminde Anomali Tespiti**

Bugarin ve Cunha (2017), Brezilya'da yer alan Tancredo Neves Havalimanı'nın tadilat bütçesinde bulunan 2.081 maliyet kalemi üzerinde Benford Yasası testleri uygulamış ve olağandışı sapmaları belirlemiştir. Bu yaklaşım sayesinde denetim kapsamı daraltılmış; incelenen kalem oranı %80'den %70,67'ye düşürülmüş, buna karşın toplam aşırı fiyatlandırmanın %86,66'sı tespit edilebilmiştir. Bulgular, risk temelli örnekleme seçiminin denetim etkinliğini artırarak denetim kaynaklarının daha verimli kullanılmasına katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Motta Café vd. (2021) ise Benford Yasası'na dayalı bir algoritma kullanarak denetim örnekleminin önceliklendirilmesini simülasyon yoluyla incelemiştir. Bu yaklaşımda, toplam maliyetin yalnızca %38,17'si analiz edilerek aşırı fiyatlandırma bulgularının %73,40'ı saptanmıştır. Sonuçlar, analitik önceliklendirme modellerinin geleneksel örnekleme yöntemlerine kıyasla anomali yakalama etkinliğini artırma potansiyeline işaret etmektedir.

### **2.2.5. Sosyal Yardım ve Kamu Ödemelerinde Anomali Tespiti**

Azevedo vd. (2021) çalışmasında, Brezilya'daki sosyal yardım programı olan Bolsa Família kapsamında belediye bazında toplanmış transfer ödemelerinin Benford dağılımına uyumu test edilmiş ve bazı alt kümelerde istatistiksel sapmalar tespit edilmiştir. Araştırmada yalnızca ilk basamak dağılımları değil aynı zamanda toplama testi uygulanmış; belirli ilk ve ikinci basamak gruplarında olağandışı büyüklükte tutar kümelenmeleri tespit edilmiştir. Bu yaklaşım, coğrafi olarak gruplanmış ödemeler üzerinde Benford tabanlı taramanın denetimde önceliklendirmeye ve sürekli gözetim süreçlerine rehberlik edebileceğini ortaya koymaktadır. Asllani ve Naco (2014) tarafından Arnavutluk'taki bir hastanenin yıllık giderleri üzerinde uygulanan Benford testi; kamu giderlerinin analitik denetiminde potansiyel usulsüzlük göstergelerini görünür kılmış, denetim kaynaklarının riskli alanlara yönlendirilmesine katkı sağlayarak süreçlerde zaman ve maliyet tasarrufu potansiyeli taşıdığını göstermiştir.

### **2.2.6. Sürekli Denetim ve Erken Uyarı Sistemlerinde Anomali Tespiti**

Silva vd. (2017), Brezilya'nın iki eyaletindeki 60 kamu idaresine ait 210.899 ihale sözleşmesi verisinde birinci anlamlı basamağın Benford Yasası'na uyumunu zaman içinde izlemek amacıyla görece sapmalara dayalı bir yöntem önermiştir. Sürekli izlemeye imkân tanıyan bu yaklaşım sayesinde, ihale mevzuatında öngörülen parasal eşik değerlerinin aşılmaması amacıyla ihalelerin bilinçli biçimde daha küçük tutarlı sözleşmelere bölünmesi gibi düzensizliklerin erken ve dönemsel olarak tespit edilebildiği ortaya konmuştur. Bu bulgular, Benford temelli analizlerin yalnızca dönemsel denetimlerde değil, aynı zamanda dinamik risk izleme süreçlerinde de işlevsel olabileceğini göstermektedir. Silva ve Boente (2023), 2017–2020 döneminde Brezilya'daki 42 kamu idaresinin işlem düzeyindeki harcama kayıtlarını Benford Yasası çerçevesinde analiz ederek sapmaları anlık risk uyarı sinyallerine dönüştürmüştür. Bu sayede özellikle belirli ilk basamak veya basamak kombinasyonlarında yoğunlaşan olağandışı işlem kümelerine odaklanılarak denetim faaliyetlerinin daha hedefli ve sürekli bir izleme mekanizmasına entegre edilebileceği ortaya konmuştur.

Örnekler Benford Yasası'nın anomali tespiti amacıyla kamu mali yönetiminin denetiminde esnek ve etkin bir araç olduğuna, farklı veri türleri ve coğrafyalarda risk odaklı örneklem seçimi, anomali saptama ve erken

uyarı süreçlerine önemli katkılar sunduğuna işaret etmektedir. Benzer şekilde özel sektör finansal verilerinin analizine yönelik çalışmalar da yöntemin manipülasyon ve anormallik tespitinde kullanılabilirliğini göstermektedir.

Köse ve Özdemir (2019) ise Türkiye’de kimya sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin 2018 yılına ait 185.083 satış faturasını analiz etmiş ve hem orijinal veri kümesinin hem de ortalama kur kullanılarak USD’ye dönüştürülen veri kümesinin Benford dağılımına uyum göstermediğini tespit etmiştir. Can ve Özarı (2023), Borsa İstanbul’da faaliyet göstermiş ve iflas etmiş bir şirketin açıklanan son beş yıllık verilerini incelemiş ve Benford Yasası ile yapılan birinci ve ikinci basamak testlerinde finansal verilerin beklenen dağılıma uyum sağlamadığını, bu durumun verilerde anormallik veya manipülasyona işaret ettiğini tespit etmiştir.

### 2.3. Benford Yasası’nın Sınırlılıkları ve Eleştiriler

Benford Yasası, mali denetimlerde yaygın biçimde kullanılan bir anomali tespit aracı olmakla birlikte hem kuramsal hem de uygulamaya dönük önemli sınırlılıklar içermektedir. Kuramsal düzeyde Berger ve Hill (2011: 88), yasanın yalnızca veri setlerinin genişliği ve dağılım özellikleriyle açıklanamayacağını, özellikle ölçek ve yayılım temelli klasik yorumların matematiksel olarak yetersiz olduğunu vurgulamaktadır.

Uygulamada Benford uyumu, veri üretim süreçleri ve analiz ölçeğine duyarlıdır. Morales vd. (2022: 168), muhasebe, satın alma ve insan kaynakları gibi süreçleri bütünlük bir altyapı üzerinde yürüten yüksek hacimli ERP sistemlerinde, Benford uyumunun modüller arasında anlamlı biçimde farklılaştığını göstermiştir. Özellikle düşük hacimli alt sistemlerde yasanın öngördüğü dağılımla uyumsuzluk yaşandığı gözlenmiş, analizlerin bütünlük olarak değerlendirilmesinin daha anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, Benford analizlerinde mikro, mezo ve makro ölçeklerin ayrı ayrı dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Benford analizinin duyarlılığının ölçülmesinde kullanılan  $\chi^2$  testi ise farklı bir sorunu gündeme getirmektedir.  $\chi^2$  testinin formülündeki örneklem büyüklüğü faktörü, veri seti genişledikçe küçük sapmaların bile istatistiksel olarak anlamlı bulunmasına neden olmaktadır. Cerqueti ve Lupi’nin (2022: 678) şiddet ilkesi çerçevesinde dile getirdiği “aşırı güç” eleştirisi ile Kossovsky’nin (2021: 426)  $\chi^2$  istatistiğine örneklem büyüklüğünün etkisine yönelik vurguları

bu bağlamda önemlidir. Büyük ölçekli veri setlerinde oluşan bu aşırı duyarlılık, teorik olarak Benford dağılımına uygun verilerin bile yanlışlıkla anormal olarak sınıflandırılmasına yol açabilmekte ve denetim süreçlerinde yanıltıcı sonuçlar üretebilmektedir.

Yasa ayrıca belirli yapısal koşullar ve veri türlerinde de sınırlılıklar göstermektedir. Önceden tanımlanmış sıralı kodları veya sabit alt-üst eşikleri içeren veri kümelerinde Benford dağılımının geçerliliği zayıflamaktadır (Darhasani ve Usman, 2021: 245). Mevsimsel dalgalanmalar, ani fiyat hareketleri veya düzenleyici müdahaleler gibi dış faktörler de logaritmik dağılımı bozarak analizlerin gerçek dışı sapmalar göstermesine veya gerçek usulsüzlüklerin gözden kaçmasına sebep olabilir.

Benford analizi, kamu mali yönetimi kapsamında vergi beyanları ile kamu gelirlerine ilişkin veri setlerinde uygulanmıştır. Nigrini (1996; 2012), 1985–1988 döneminde New York Vergi ve Maliye İdaresi mükellef beyan verileri üzerinden yürüttüğü incelemelerde, Benford Yasası'na uyum düzeyini ortaya koyarken bazı alt gruplarda anlamlı istatistiksel sapmalar bulunduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Nigrini, bu sapmaların doğrudan hile kanıtı olarak yorumlanamayacağını, Benford analizinin yalnızca olağandışı örüntüleri işaret eden bir ön inceleme aracı olduğunu belirtmiştir. Sapmaların bazı durumlarda veri kümesinin yapısal özelliklerinden, yuvarlama uygulamalarından veya eşik değerli düzenlemelerden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Kıvraklar ve Demirci, 2019: 312). Bu çerçevede, Benford analizinin yalnızca riskli alanların önceliklendirilmesinde kullanılan tamamlayıcı bir araç olarak görülmesi gerektiği, dolayısıyla denetim sürecinde sınırlı bir rol üstlenebileceği söylenebilir.

### **3. BENFORD YASASI'NA ALTERNATİF VE/VEYA TAMAMLAYICI ANOMALİ TESPİT YÖNTEMLERİ**

Kamu mali yönetiminin denetiminde Benford Yasası'na alternatif ve/veya tamamlayıcı olarak geliştirilen çağdaş anomali tespit araçları, büyük veri analitiği ve YZ tabanlı yöntemlerden regresyon analizleri, çok değişkenli mesafe ölçüleri gibi istatistiksel tekniklere ve blokzincir tabanlı denetim izlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

### 3.1. Büyük Veri Analitiği ve Yapay Zekâ Tabanlı Yöntemler

Büyük veri analitiği, işlem sistemleri, e-belge akışları ve dış servisler gibi heterojen kaynaklardan gelen çok boyutlu bilgiyi tek bir analitik çatı altında eşzamanlı olarak işleyebilmektedir. Bu çoklu kaynak entegrasyonu, mali işlem dizilerindeki normalden sapmaları ve riskli örüntüleri erken aşamada görünür hâle getirmektedir (Popoola, 2023: 36; Shalhoob vd., 2024: 14). Bu bağlamda, son yıllarda hile ve anomali tespiti, risk sınıflaması ve erken uyarı gibi alt alanlarda, veri temelli YZ yöntemlerinin kullanımı belirgin biçimde artmıştır. YZ destekli veri analitiği, anomali tespiti doğruluk oranını geleneksel yöntemlere kıyasla ortalama %30–40 civarında artırmıştır (Uzun ve Uzun, 2025: 714).

YZ, kapsamlı bir çerçevede olarak makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) tekniklerinin yanı sıra, metin verilerinin analizine odaklanan doğal dil işleme (NLP) yöntemlerini de içermektedir. ML gözetimli ve gözetimsiz öğrenme yaklaşımları ile denetim süreçlerinde veri örüntülerini modelleyebilirken DL ise daha karmaşık ve çok boyutlu veri yapılarını işleyerek öngörücü modellerin doğruluğunu artırabilmektedir (Pamisetty, 2021: 25744; Restrepo-Carmona vd., 2024: 19).

Denetim bağlamında, büyük veri ortamlarından elde edilen geniş ölçekli kayıt kümeleri, istatistiksel modelleme ile algoritmik öğrenmeyi birleştiren ML yaklaşımları aracılığıyla anomalilerin saptanmasında giderek daha yaygın biçimde kullanılmaktadır. Uygulamada öne çıkan başlıca alanlar; işlem kayıtlarının denetim amaçlı etiketlenmesi, norm dışı örüntülerin ve aykırı değerlerin keşfi ile hile olasılığına ilişkin olasılık temelli risk puanlarının tahmin edilmesidir. ML tabanlı araçlar, denetim sürecindeki yinelenen adımları otomatikleştirerek manuel müdahale gereksinimini azaltmakta; böylece denetçilerin analitik değerlendirme ve mesleki yargı gerektiren yüksek katma değerli faaliyetlere daha fazla zaman ayırmasına imkân tanımaktadır. Geçmişte etiketlenen usulsüzlük kayıtları üzerinden eğitilen modeller, yeni ve benzer usulsüzlükleri tespit etmede yüksek oranda doğruluk sağlamaktadır (Hernandez Aros vd., 2024: 14; Johora vd., 2024: 17; Genaro-Moya vd., 2025: 11).

DL, ML'nin bir alt alanı olarak farklı tür, yapı ve kaynaktan gelen yüksek boyutlu mali ve idari veri kümelerinde düzensizliklerin belirlenmesinde yaygın biçimde kullanılmakta ve etkili sonuçlar üretmektedir. Özellikle DL temelli otomatik kodlayıcı temsilleri ile Transformer tabanlı metin modelleri, denetim süreçlerinde erken uyarı sinyallerinin üretilmesini önemli ölçüde artırmaktadır. Çok katmanlı DL temelli ağ yapıları, işlem akışlarındaki tutar serilerinde meydana gelen kırılmaları, satıcı/tedarikçi düzeyinde kümelenmeleri ya da beklenmedik eşleşmeler gibi olağandışı örüntüleri görünür kılabilir.

DL modellerinin yüksek boyutlu veri kümelerindeki etkinliğine paralel olarak sayısal olmayan metinlere yönelik NLP yöntemleri de denetim süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemler aracılığıyla ihale ilanları, sözleşme hükümleri ve yevmiye açıklamalarında yer alan yinelenen kalıplar, çelişkili ifadeler ve risk göstergeleri sistematik biçimde tespit edilebilmektedir. Kurumsal uygulamalarda bu modeller, denetçi kurallarını besleyen bir ön eleme katmanı olarak konumlandırılmakta ve yüksek riskli kayıtlara erken uyarı üreterek doğrulama sürecinde risk temelli örneklem seçiminin isabetliliğini artırmakta; sayısal verilerin yanı sıra yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verilerin de denetim analizlerine dâhil edilmesine imkân tanımaktadır (Schultz ve Tropmann-Frick, 2020: 5423; Brandão vd., 2023: 12; Lima vd., 2023: 3). Tablo 2’de, veri-yoğun denetimde YZ tabanlı analitik yöntemler ve alt bileşenleri özetlenmektedir.

**Tablo 2:** Veri-yoğun Denetimde Yapay Zekâ Tabanlı Analitik Yöntemler ve Alt Bileşenleri

Bileşen	Kapsam / Veri Türü	Denetimde Kullanım Amacı	Temel Katkısı
Büyük Veri Analitiği	Kurumsal sistemlerden gelen yüksek hacimli ve çeşitli mali veriler	Olağandışı sapma ve riskli örüntü tespiti	Erken ve bütüncül risk görünürlüğü
YZ	Sayısal ve metin tabanlı büyük veri	Denetim süreçlerinin desteklenmesi ve otomasyonu	Denetim etkinliği ve kapsayıcılığının artması
ML	Yapılandırılmış mali işlem verileri	Hile, anomali ve risk sınıflaması	Bilinen usulsüzlüklerin tespiti
DL	Yüksek boyutlu ve karmaşık mali ve idari veriler	Gelişmiş örüntü ve anomali analizi	Öngörücü doğruluğun artırılması
NLP	İhale ilanları, sözleşmeler, muhasebe açıklamaları	Metin temelli risk analizi	Metin verilerinin denetime dâhil edilmesi

**Kaynak:** Yazarlarca Pamisetty (2021); Brandão vd. (2023); Lima vd. (2023) ve Restrepo-Carmona vd. (2024)’den yararlanılarak oluşturulmuştur.

Yukarıda özetlenen yöntemlerin kamu mali yönetiminin denetiminde yarattığı başlıca dönüşüm, denetimin kapsam ve derinliğinin belirgin biçimde artmasıdır. Geleneksel örnekleme temelli yaklaşımlarla karşılaştırıldığında büyük veri ve YZ teknikleri çok daha geniş veri kümelerini çoğu zaman gerçek zamanlı olarak işleyebilmekte; veri kalitesi ve birlikte çalışabilirlik sağlandığında elde edilen bulguların güvenilirliği önemli ölçüde yükselmektedir (Restrepo-Carmona vd., 2024: 3).

### 3.2. Anomali Tespitinde İstatistiksel Yöntemler ve Eşik Tasarımı

Anomali tespitinde istatistiksel yöntemler, beklenen davranışın modellenmesi ve bu modelden sapmaların eşiklenmesi esasına dayanmaktadır. Regresyon temelli yaklaşımlar, bağlama özgü beklenen değerleri tahmin ederek aykırı gözlemleri, standartlaştırılmış artıklar, kaldıraç ve etki ölçütleri üzerinden belirlemektedir. Yüksek boyut ve eşdoğrusallık durumlarında Temel Bileşenler Regresyonu (PCR) ve Kısmi En Küçük Kareler Regresyonu (PLS) gibi bileşen temelli yöntemler daha kararlı kestirimler sunarken özellik seçimi aşamasında bilgi kuramına dayalı ölçütler model doğruluğu ile istikrar arasında denge sağlamaktadır.

Tek değişkenli dağılım temelli yöntemler, z-skor ve kuyruk olasılıkları aracılığıyla yüksek hacimli işlem akışlarında yorumlanabilir bir erken uyarı katmanı oluşturmaktadır. Bu yaklaşımlarda eşiklerin kurumun risk iştahına göre kalibre edilmesi, yanlış pozitif ve yanlış negatif dengesinin yönetilmesine olanak tanımaktadır (Rosner, 1983). Çok değişkenli yapılarda ise sağlam kovaryans kestirimlerine dayalı Mahalanobis uzaklıkları, klasik  $\chi^2$  eşiklerinin aşırı duyarlılığını azaltmak amacıyla Sağlam Minimum Kovaryans Determinantı (RMCD) ve Düzenleştirilmiş Minimum Kovaryans Determinantı (MRCD) gibi düzenleştirilmiş yaklaşımlarla uygulanmaktadır (Filzmoser, 2005: 130, Cerioli, 2009: 149; Hubert vd., 2018: 9). Zaman serisi temelli yöntemler, beklenen dinamiklerin modellenmesi ve tahmin artıklarının eşiklenmesi yoluyla yapısal kırılmalar ve ani sapmaları ortaya koymaktadır (Moschini vd., 2021; Zhang vd., 2023).

İstatistiksel yaklaşım, politika hedefleriyle uyumlu bir eşik tasarımı çerçevesinde bağımsız bir anomali tespit hattı olarak kurgulanabilir. Tablo 3'de, anomali tespitinde kullanılan istatistiksel yöntemler özetlenmektedir.

**Tablo 3:** Anomali Tespitinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Yöntem Ailesi	Temel Mantık	Başlıca Araçlar (Örnek)	Ne Zaman Tercih Edilir?
<b>Regresyon Tabanlı</b>	Beklenen davranışı modelleyip sapmayı ölçme	OLS, PCR, PLS; standartlaştırılmış artıklar, Cook's D	Bağlamsal ilişki varsa açıklanabilirlik önemliyse
<b>Dağılım / Z-Skor Tabanlı</b>	Beklenen dağılımdan sapmayı ölçme	Z-skor, kuyruk olasılıkları	Yüksek hacimli normal dağılıma yakın veride hızlı tarama gerekiyorsa

Yöntem Ailesi	Temel Mantık	Başlıca Araçlar (Örnek)	Ne Zaman Tercih Edilir?
<b>Sağlam Çok Değişkenli</b>	Çok boyutlu aykırılıkları sağlam biçimde ölçme	MCD, RMCD, MRCD, dayanıklı Mahalanobis uzaklığı	Çok değişkenli yapı, aykırı gözleme duyarlılık varsa
<b>Zaman Serisi Tabanlı</b>	Zaman içi beklenen davranıştan sapmaları yakalama	ARIMA, tahmin artıkları, z-skor temelli sapma ölçümleri	Süreç izleme ve gerçek zamanlı denetimde
<b>Eşik Kalibrasyonu</b>	Yanlış alarm dengesini yönetme	Risk iştahı, alarm eşiği sınırı, FWER (Family-Wise Error Rate)	Politika ve denetimle uyum gerektiğinde

**Kaynak:** Yazarlarca Rosner (1983); Cerioli (2009); Hubert vd. (2018) ve Zhang vd. (2023)'ten yararlanılarak oluşturulmuştur.

### 3.3. Blokzincir Tabanlı Denetim İzi ve Sürekli Anomali Tespiti

Blokzincirin değiştirilemez kayıt yapısı, veri tabanlarında bilgi keşfi ve denetim analitiği ile birlikte ele alındığında olağandışı işlem örüntülerinin daha erken ve daha güvenilir biçimde tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Dağıtık ve kalıcı denetim izi, doğrulama süreçlerini hızlandırmakta üçüncü taraf manipülasyon riskini azaltmakta ve denetim için güvenilir bir kanıt altyapısı oluşturmaktadır. Ampirik bulgular, blokzincir tabanlı yaklaşımların mali veri güvenilirliğini artırdığını, operatör hatalarını azalttığını ve manipülatif işlemlerin belirlenme sürecini geleneksel yöntemlere kıyasla hızlandırdığını göstermektedir (Nakamoto, 2008: 6; Xu vd., 2017: 250; De Falco vd., 2019: 104; Almadadha, 2024: 327; Hashim, 2024: 39).

Kamu mali yönetimi denetimi bağlamında, özel ya da izinli (kısmi-merkezi) bir blokzincir mimarisi, kamu muhasebe kayıtlarını geriye dönük değişikliklere kapalı hâle getirmektedir. Konsensüs gereksinimi tek taraflı müdahaleleri zorlaştırırken denetim verisine zamanında erişim sağlanması özellikle düzenlilik ve performans denetimlerinde etkinliği artırabilmektedir. Bu yapı, şeffaflık, izlenebilirlik ve raporlama bütünlüğünü güçlendirmektedir. Ayrıca denetçilerin işlem geçmişini zaman damgalı ve herkesçe doğrulanabilir kayıtlar üzerinden izlemesine, kayıt bütünlüğünü kriptografik ispatlarla sınamasına ve bulgularını aracıya duyulan güven yerine doğrulanabilir kanıtlara dayandırmasına imkân tanımaktadır (Nakamoto, 2008: 3; Androulaki vd., 2018: 7; Ciğerci ve Eğmir, 2019: 214).

Blokszincir tabanlı denetim, sürekli denetim yaklaşımıyla birleştirildiğinde daha da güçlü hâle gelmektedir. Bilgi teknolojileri tarafından desteklenen, mali ve operasyonel verilerin yüksek frekansta veya hatta gerçek zamanlı olarak değerlendirilmesine imkân veren sürekli denetim, sabit aralıklarla gerçekleştirilen periyodik denetimlerin aksine, neredeyse anlık güvence ve izleme sağlamaktadır. Sürekli denetim, anomali tespitini geliştirme, risk belirleme süreçlerini hızlandırma ve yönetsel yanıtları iyileştirme potansiyeline sahiptir (Ateş, 2025).

Akıllı sözleşmelerin kullanıldığı durumlarda blokszincir mimarisi, belirli ihlallerde işlemi kayıt anında durdurarak önleyici bir kontrol katmanı da sağlayabilmektedir. Bununla birlikte bu sistemler yalnızca önceden tanımlanmış kurallar kapsamındaki usulsüzlükleri otomatik olarak engelleyebilmekte; gizlilik, yönetim bağımsızlığı ve zincir dışı veri güvenilirliği gibi yapısal sınırlamalar taşımaktadır. Bu nedenle blokszincir, tek başına bir denetim çözümü olmaktan ziyade belirli anomali türlerini önleyebilen ve denetim kanıtlarının bütünlüğünü güvence altına alan tamamlayıcı bir denetim altyapısı olarak değerlendirilmelidir.

#### **4. DENETİMDE ANOMALİ TESPİT YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mali saydamlık ve hesap verebilirlik, kamu mali yönetiminin temel normatif hedefleri arasında yer almakla birlikte doğaları gereği soyut kavramlardır. Bu kavramların pratikte anlam ve işlev kazanabilmesi, kamu kaynaklarının kullanımına ilişkin süreçlerin sistematik biçimde izlenmesine ve değerlendirilmesine bağlıdır. Bu bağlamda denetim, saydamlık ve hesap verebilirliğin somutlaşmasını sağlayan temel araçtır ve kamu mali yönetiminde etkin işleyen bir denetim sisteminin varlığı zorunludur (Küçükaycan, 2020: 51). Denetimde kullanılan anomali tespit yöntemlerinin etkinliği ise yalnızca teknik doğruluklarına değil aynı zamanda kanıt standardı ile verinin üretim ve yayılım dinamiklerine ne ölçüde uyum sağladıklarına bağlıdır. Bu çerçevede, yöntem tercihi çoğu zaman verinin yapısı ve denetim amacının belirlediği sınırlar içinde şekillenmektedir.

Benford Yasası, hızlı ve düşük maliyetli bir ön tarama aracı sunmakta ancak her veri evreninde doğrudan denetim kanıtı üretmemektedir. Uygulanabilirliği, veri hacminin yeterli olması, değerlerin birkaç mertebeye yayılması ve verinin doğal ya da çoğaltıcı süreçler sonucunda oluşmasına

bağlıdır. Bu nedenle Benford bulguları, bağlamdan kopuk biçimde değil diğer yöntemlerle desteklenerek yorumlanmalıdır.

Heterojen veri setlerinde, tek geçişli Benford testleri yerine segmentasyon sonrası yeniden uygulama daha etkili sonuçlar vermektedir. Çoklu Benford testleri, veri evrenini değer dilimlerine ayırarak her dilimde ayrı analiz yapılmasına olanak tanımakta ve yalın uygulamalara kıyasla tespit doğruluğunu artırmaktadır. Bununla birlikte, bu yolla işaretlenen uç gözlemler nihai karar niteliği taşımadığından ileri inceleme ve saha doğrulamasını yönlendiren ön bulgular olarak değerlendirilmelidir (Wiryadinata vd., 2023: 244).

Klasik istatistiksel yöntemler (z-skoru, IQR gibi) varsayımlarının açık olması sayesinde yorumlanabilirlik açısından avantajlıdır ve küçük ya da yaklaşık normal dağılım gösteren veri setlerinde etkili biçimde kullanılmakla beraber yüksek boyutlu veya yapılandırılmamış verilerde örüntü yakalama kapasiteleri sınırlı kalabilmektedir (Montgomery, 2024: 3). Zaman boyutunun belirleyici olduğu veri akışlarında ise zaman serisi temelli anomali testleri, beklenen değer-artık karşılaştırması yoluyla olağandışı davranışları saptamada uygun olmakla birlikte doğrusal ve görece istikrarlı dinamik varsayımlara dayanmaktadır.

Karmaşık örüntüleri otomatik olarak öğrenebilen ML yaklaşımları, söz konusu sınırlılıkları aşmada güçlü bir alternatif sunmaktadır. Yüksek doğruluk düzeylerine ulaşabilseler de yorumlanabilirlikleri bağlama ve modele göre değişmekte; özellikle DL temelli yapılarda algoritmik şeffaflık sınırlı kalabilmektedir. Bu durum, hesap verebilirliğin kritik olduğu kamu denetiminde etik ve yönetimsel sorunlar doğurabilmekte; "neden anomali?" sorusunun açık biçimde yanıtlanamaması, model çıktılarının hukuki ve yönetsel kararlarda kabul edilebilirliğini zayıflatabilmektedir (Lipton, 2016: 40).

Blokszincir teknolojisi ise değiştirilemez ve izlenebilir kayıt altyapısıyla kanıtlanabilirliği artırmakta ancak doğrudan bir analiz yöntemi olmaktan ziyade analizi mümkün ve güvenilir kılan bir zemin işlevi görmektedir (Nakamoto, 2008: 3). Bu çerçevede ne YZ ne de blokszincir tek başına bütüncül bir çözüm sunmaktadır. YZ yüksek doğruluk sağlayabilse de açıklanabilirlikten, blokszincir ise saydamlığa rağmen nedensel analiz kapasitesinden yoksundur. Benford Yasası ise kolay uygulanabilir olmakla birlikte doğruluk ve bağlam duyarlılığı bakımından sınırlıdır. Dolayısıyla tekil yöntemlere dayalı analizlerin çoğu zaman eksik ya da yanıltıcı sonuçlar üretebileceği açıktır. Bu nedenle uygulamada hibrit ve katmanlı yaklaşımlar öne çıkmaktadır.

Benford analizi, uygun kesit ve agregasyon düzeyleri seçilerek makro tarama amacıyla kullanılmakta, işaretlenen riskli alanlar blokzincir üzerinde ayrıntılı zaman ve ilişki analizleriyle derinleştirilmektedir. Bu yaklaşım, yanlış alarm riskini azaltırken bulguların raporlanabilirliğini ve savunulabilirliğini güçlendirmektedir (Ferreira Cavazin, 2025: 11). Benzer biçimde önce Benford ile makro tarama ardından aynı alt kesitlerde z-skoru veya IQR ile yerel sapma kontrolü ve belirgin zaman bağımlılığı bulunan durumlarda zamansal tutarlılık sınaması yapılması; Benford'un hız ve ölçek avantajını klasik istatistiksel yöntemlerin yerel duyarlılığıyla tamamlamaktadır. Tablo 4'te, veri temelli denetim kapsamında anomali tespitinde kullanılan yaklaşımların karşılaştırmalı bir özeti sunulmaktadır.

**Tablo 4:** Veri Temelli Denetimde Anomali Tespit Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Yöntem / Yaklaşım	Temel Güçlü Yönleri	Sınırlılıkları	Denetimde Kullanım Amacı
<b>Benford Yasası</b>	Hızlı ve düşük maliyetli ön tarama imkânı sağlar. Büyük veri setlerinde ölçek avantajı sunar.	Her veri evrenine uygun değildir. Bağlam ve veri üretim sürecine duyarlıdır. Tek başına kanıt üretmez.	Makro düzeyde riskli alanların belirlenmesi ve önceliklendirilmesidir.
<b>Çoklu / Segmentasyonlu Benford Testleri</b>	Heterojen veri setlerinde tespit doğruluğunu artırır. Tekil Benford'a kıyasla daha duyarlıdır.	Nihai karar üretmez; ileri analiz gerektirir.	Alt kesit bazlı risk taraması ve denetim odağının daraltılmasıdır.
<b>Klasik İstatistiksel Yöntemler (z-skoru, IQR)</b>	Varsayımları açık; yük-sek yorumlanabilirlik; küçük ve yaklaşık normal dağılımlı verilerde etkilidir.	Yüksek boyutlu veya karmaşık örüntülerde sınırlıdır.	Yerel sapmaların ve uç değerlerin tespitidir.
<b>Zaman Serisi Tabanlı Testler</b>	Zaman boyutunu dikkate alır. Beklenen-artık karşılaştırması ile olağandışı davranışları saptar.	Doğrusal ve istikrarlı dinamik varsayımlarına dayanır.	Sürekli izleme ve zamansal tutarlılık analizidir.
<b>Makine Öğrenmesi (ML)</b>	Karmaşık örüntüleri otomatik öğrenme; yüksek doğruluk potansiyeli vardır.	Yorumlanabilirlik modele ve bağlama bağlıdır.	Çok boyutlu veri setlerinde ileri anomali tespitidir.
<b>Derin Öğrenme (DL)</b>	Çok karmaşık yapıları modelleyebilme; yüksek hassasiyete sahiptir.	Algoritmik saydamlık düşük ve açıklanabilirlik sınırlıdır.	Büyük ve karmaşık veri akışlarında ileri analizdir.

Yöntem / Yaklaşım	Temel Güçlü Yönleri	Sınırlılıkları	Denetimde Kullanım Amacı
<b>Blokzincir Teknolojisi</b>	Değiştirilemezlik ve izlenebilirlik; kanıtlanabilirliği artırır.	Doğrudan bir analiz yöntemi değildir.	Güvenilir veri altyapısı ve denetim kanıtının güçlendirilmesidir.
<b>Hibrit ve Katmanlı Yaklaşımlar</b>	Yöntemlerin güçlü yönlerini tamamlayıcı biçimde birleştirir. Yanlış alarm riskini azaltır.	Tasarım ve uygulama karmaşıklığı vardır.	Savunulabilir, raporlanabilir ve bağlama duyarlı denetimdir.

**Kaynak:** Yazarlarca Nakamoto (2008); Nigrini (2012); Lipton (2016); Wiryadinata vd. (2023); Montgomery (2024) ve Ferreira Cavazin (2025)'den yararlanılarak oluşturulmuştur.

Yukarıdaki sunulan yaklaşımlar, denetimde yöntem seçiminin yalnızca teknik performans ölçütlerine indirgenmemesi gerektiğini göstermektedir. Bağlam uygunluğu, açıklanabilirlik, kaynak gereksinimi ve yönetişimsel etkiler gibi çok boyutlu kriterlerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Hibrit yaklaşımlar, bu çok boyutlu yapıyı dengeleyerek daha tutarlı, savunulabilir ve uygulanabilir bir kamu denetimi pratiği geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

## SONUÇ

Kamu mali yönetiminin denetiminde istatistiksel anomali tespiti yerini ve sınırlarını, Benford Yasası ile alternatif yöntemlerin birbirini nasıl tamamladığını ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma, kullanılacak yöntemlerin yalnızca teknik performans ölçütlerine göre değil kurumsal bağlam, veri üretim dinamikleri ve yönetim gereklilikleri dikkate alınarak seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu yaklaşımın, denetim bulgularının geçerliliğini, yorumlanabilirliğini ve uygulamaya aktarılabilirliğini eşzamanlı olarak güçlendirdiği değerlendirilmektedir.

Benford Yasası hızlı ve düşük maliyetli uygulanabilen bir ön tarama yaklaşımı sunmaktadır. Ancak normatif bir hüküm ya da doğrudan kanıt üretmediği de açıktır. Bu denetim yöntemi, esas olarak denetim sürecinde incelemeyi derinleştirmeye yönlendiren analitik önceliklendirme sinyalleri üretmektedir. Bununla birlikte performansının veri yapısına, örnekleme çerçevesine ve kurumsal muhasebe uygulamalarına duyarlı olması nedeniyle elde edilen sonuçların bağlamsal olarak yorumlanması ve sağlık kontrolleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

Heterojen veri evrenlerinde, tekil Benford testi yerine segmentasyona dayalı çoklu Benford uygulamaları isabeti artırma eğilimindedir. Ancak süreçte saptanan aykırı değerlerin nihai bir yargı olarak değil saha doğrulamasını ve ileri denetim prosedürlerini yönlendiren geçici analitik göstergeler olarak ele alınması önem taşımaktadır. Geleneksel istatistik temelli yaklaşımlar, yerel düzensizliklerin tanımlanmasında sağlam ve anlaşılabilir bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte değişken sayısının arttığı ya da verinin yarı-yapılandırılmış veya ham nitelik kazandığı durumlarda kalıp algılama gücü görece zayıflamaktadır. Zamansal bağımlılığın belirginleştiği bağlamlarda ise seri temelli ve zamana duyarlı çözümlerler daha tutarlı sonuçlar üretmektedir.

ML yöntemleri, karmaşık ilişkileri ve yüksek boyutlu örüntüleri ayırtmada güçlü olanaklar sağlamaktadır. Ancak model iç işleyişinin sınırlı görünürlüğü, kamu denetiminde vazgeçilmez olan saydamlık ve gerekçelendirme yükümlülükleriyle uyum sorunu doğurabilmektedir. Blok zincir ise bir analiz tekniğinden ziyade kanıtın üretiminden sunumuna kadar bütünlük ve süreklilik sağlayan bir kayıt altyapısı sunarak denetim süreçlerini destekleyen bir zemin işlevi görmektedir. Bu nedenle her iki teknolojinin de açıklanabilirlik, izlenebilirlik ve kurumsal yönetim ilkeleri dikkate alınarak tasarımın erken aşamalarından itibaren sisteme entegre edilmesi gerekmektedir.

Dolayısıyla en yüksek faydayı sağlayan yaklaşım, katmanlı ve hibrit bir anomali tespit mimarisidir. Bu kapsamda veri evreni öncelikle Benford Yasası temelli geniş ölçekli bir makro taramadan geçirilmeli; işaretlenen alt veri kesitlerinde geleneksel istatistiksel yöntemlerle daha odaklı analizler yapılmalı ve bağlama özgü eşikler belirlenmeli; veri zenginliğinin elverdiği durumlarda, gözetimli veya gözetimsiz öğrenme teknikleri kullanılarak mikro düzeyde doğrulama ve örüntü genişletme sağlanmalı; elde edilen bulgular ise blok zincir tabanlı denetim izleriyle ilişkilendirilmelidir. Bu ardışık yapı, yanlış pozitifleri sınırlarken bulguların raporlamada savunulabilirliğini ve izlenebilirliğini artırarak, karar vericiye anomali sonucunu izlenebilir ve gerekçelendirilebilir bir süreç içinde ortaya koyabilme imkânı tanımaktadır.

Kamu mali yönetiminin denetiminde anomali tespitinde kullanılan yöntemlerin kuramsal dayanakları, veri gereksinimleri, yorumlanabilirlik ve ölçeklenebilirlik boyutlarının birlikte ele alınması, katmanlı ve hibrit tespit mimarisinin hem kanıt kalitesini hem de operasyonel verimliliği eşzamanlı olarak güçlendirdiğini göstermektedir. Uygulamada sürdürülebilirlik için veri kalitesi ve

eşik yönetişimine dair net standartlar kurulmalı; pilot çalışmalarla hassasiyet-özgüllük ile isabet-geri çağırım dengeleri bağlama göre kalibre edilmelidir.

Politikave uygulama açısından üç sonuç öne çıkmaktadır. Birincisi, yöntem seçimi yalnızca teknik doğruluk ölçütlerine indirgenmemeli; bağlama uygunluk, açıklanabilirlik, kaynak gereksinimi ve kurumsal etki birlikte değerlendirilmelidir. İkincisi, Benford'tan türeyen makro sinyallerin aynı alt kesitlerde zamansal tutarlılık kontrolleri ve özenli eşik yönetişimi ile teyit edilmesi, gereksiz alarm riskini anlamlı ölçüde azaltmaktadır. Üçüncüsü, denetim bilgi sistemlerinin mimarisi; Benford uyum/uzaklık göstergelerini ML modellerine girdi olarak aktarabilen, blokzincir kaynaklı işlem izlerini ilişkilendirebilen, modüler ve birlikte çalışabilir bir yapıda kurgulanmalıdır.

## KAYNAKÇA

- Almadadha, R. (2024). Blockchain Technology in Financial Accounting: Enhancing Transparency, Security, and ESG Reporting. *Blockchains*, 2024(2), 312–333.
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., ..... ve Yellick, J. (2018). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. *European Conference on Computer Systems*, 30.
- Asllani, A. ve Naco, M. (2014). Using Benford's Law for Fraud Detection in Accounting Practices, *Journal of Social Science Studies*. Macrothink Institute, 2(1), 129-143
- Ateş, H. (2025). Algorithmic Systems and Democratic Oversight in Public Auditing. *Sayıştay Dergisi*, 36(139), 681-709.
- Azevedo, C. da S., Gonçalves, R. F., Gava, V. L. ve Spinola, M. de M. (2021). A Benford's Law based methodology for fraud detection in social welfare programs: Bolsa Familia analysis. *Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications*, 567, 125626.
- Benford, F. (1938). The Law of Anomalous Numbers. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 78(4), 551–572.
- Berger, A. ve Hill, T.P. (2011). Benford's Law Strikes Back: No Simple Explanation in Sight for Mathematical Gem. *Math Intelligencer*, 33, 85–91.
- Berger, A. ve Hill, T.P. (2020). The mathematics of Benford's law: A Primer. *Stat Methods Appl*, 30, 779-795.
- Boztepe, E. (2013). Benford Yasası ve Muhasebe Denetiminde Kullanılabilirliği. *LAÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(1), 73-83.
- Brandão, M. A., Reis, A. P. G., Mendes, B. M. A., ..... ve Pappa, G. (2023). PLUS: A Semi-automated Pipeline for Fraud Detection in Public Bids, *Digital Government: Research and Practice*, 5(1), 1-16.
- Bugarin, M. S. ve Cunha, F.C.R. da. (2017). Lei de Benford Aplicada à Auditoria da Reforma do Aeroporto Internacional de Minas Gerais. *Revista Do Serviço Público*, 68(4) 915-940.
- Can, E. N. ve Özarı, Ç. (2023). Benford Yasası ve Beneish Model İle Muhasebe Manipülasyonunun Belirlenmesi: Ampirik Bir Uygulama. *Denetişim*, 28, 88-103.
- Cella, R. ve Zanolla, E. (2018). Benford's Law and Transparency: An Analysis of Municipal expenditure. *Brazilian Business Review*, 15, 331-347.
- Ceroli, A. (2009). Multivariate Outlier Detection With High-Breakdown Estimators. *Journal of the American Statistical Association*, 105(489), 147–156.

- Cerqueti, R. ve Lupi, C. (2022). Severe testing of Benford's law, TEST: An Official Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research. Springer, 32(2), 677-694.
- Chandola, V., Banerjee, A. ve Kumar, V. (2009). Anomaly Detection: A survey. ACM Computing Surveys, 41(3), 15.
- Ciğerci İ. ve Eğmir R.T. (2019). Kamu Mali Denetiminde Olası Blok Zincir Teknolojisinin Denetim Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi. Maliye Dergisi, 177, 203-217.
- Darhasani ve Usman, F. (2021). Benford's Law Test Method in Tax Audit Planning. European Journal of Business and Management Research, 6(6), 240-246.
- Durtschi, C., Hillison, W.A. ve Pacini, C. (2004). The Effective Use of Benford's Law to Assist in Detecting Fraud in Accounting Data. Journal of Forensic Accounting, 524-5586, 5(1), 17-34.
- Emmott, A., Das, S., Dietterich, T.G., Fern, A. ve Wong W. (2016). A Meta-analysis of the Anomaly Detection Problem, arXiv: Artificial Intelligence
- De Falco, S.E., Cucari, N., Canuti, E. ve Modena, S. (2019). Corporate Governance and Blockchain: Some Preliminary Results by a Survey, Corporate Governance: Search for the Advanced Practices, 102-115.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. Pattern Recognition Letters, 27(8), 861-874.
- Ferreira Cavazin, T. (2025). Comprehensive Tokenomics Analysis via Benford's Law Applications in Anomaly Detection and Financial Forensics.
- Filzmoser, P. (2005). Identification of Multivariate Outliers: A Performance Study. Austrian Journal of Statistics, 34, 127-138.
- Fulcer, K., Gu, H., Hu, H., Huang, Q. Kogan, A., Vasarhelyi, M., Wei, D. ve Young, J. (2024). Application of Outlier Detection Methods in Audit Analytics, Available in SSRN
- Genaro-Moya, D., Lopez-Hernandez, A.M. ve Godz, M. (2025). Artificial Intelligence and Public Sector Auditing: Challenges and Opportunities for Supreme Audit Institutions, World, 6(2), 78.
- Güner, M. ve Kurnaz, E. (2021). Muhasebe Denetiminde Benford Kanununun Kullanımı Bir Devlet Üniversitesi Uygulaması. Gümüşhane University Journal of Social Sciences, 12(1), 81-96.
- Hashim S. C. (2024). Impact Smart Applications To Enhance The Transparency and Accuracy of Financial Auditing. Anggaran: Jurnal Publikasi Ekonomi Dan Akuntansi, 2(4), 22-39.

- Hernandez Aros L., Bustamante Molano L. X., Gutierrez-Portela F. ve Moreno Hernandez J.J. ve Rodríguez Barrero, M.S. (2024). Financial Fraud Detection Through the Application of Machine Learning Techniques: A Literature Review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-22.
- Hill, T.P. (1995). A Statistical Derivation of the Significant-Digit Law. *Statistical Science*, 10(4), 354–363.
- Hodge, V.J. ve Austin, J. (2004). A Survey of Outlier Detection Methodologies. *Artif Intell Rev* 22, 85–126
- Hubert M, Debruyne M, Rousseeuw P.J. (2018). Minimum Covariance Determinant and Extensions. *WIREs Comput Statistics*, 10, e1421.
- Johora, F. T., Hasan, R., Farabi, S. F., Akter, J. ve Mahmud, Md. A. A. (2024). Ai-Powered Fraud Detection in Banking: Safeguarding Financial Transaction. *The American Journal of Management and Economics Innovations*, 6(6), 8–22.
- Kıvraklar, M.K. ve Demirci, Ş.D. (2019). Benford Yasası'nın Mali Denetim Alanında Kullanımı Üzerine Bir Uygulama. *Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Dergisi*, 12(2), 289-316.
- Kossovsky, A. E. (2021). On the Mistaken Use of the Chi-Square Test in Benford's Law. *Stats*, 4(2), 419-453.
- Köse, E. ve Özdemir, M. (2019). Muhasebe Denetiminde Benford Kanunu ve Ölçekten Bağımsızlık Yönteminin Test Edilmesi. *Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(3), 271-287.
- Köse, H. Ö. ve Polat, N. (2022). Dijital Dönüşüm ve Denetimin Geleceğine Etkisi. *Sayıştay Dergisi*, 32(123), 9-41.
- Küçükaycan, D. (2020). Mali Saydamlık ve Hesap Verebilirlik Aracı Olarak Türk Sayıştay'ının Performans Denetimi. *Denetişim*, 20, 35-54.
- Le L. ve Mantelaers E. (2024). Benford's Law and Beyond: A Framework for Auditors. *Maandblad voor Accountancy en Bedrijfseconomie*, 98, 427-438.
- Lima, W., Lira, R., Paiva, A., Silva, J. ve Silva, V. (2023). Methodology for Automatic Extraction of Red Flags in Public Procurement. *2023 International Joint Conference on Neural Networks*, 01-07.
- Lipton, Z.C. (2016). The Mythos of Model Interpretability. *Communications of the ACM*, 61, 36-43.
- Montgomery, R. M. (2024). Techniques for Outlier Detection: A Comprehensive View. *Journal of Biomedical and Engineering Research*.2 (2), 1-10.

- Morales, H. R., Porporato, M. ve Epelbaum, N. (2022). Benford's Law for Integrity Tests of High-Volume Databases: A Case Study of Internal Audit in a State-Owned Enterprise. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 27(53), 154–174.
- Moschini, G., Houssou, R., Bovay, J. ve Robert-Nicoud, S. (2021). Anomaly and Fraud Detection in Credit Card Transactions Using the ARIMA Model. *Engineering Proceedings*, 5(1), 56.
- Motta Café, R., Soares Bugarin, M. ve Cuoco Portugal, A. (2021). Auditoria de Obras Públicas e Lei de Benford: O Caso do Expresso DF Sul no Distrito Federal. *Revista Do Serviço Público*, 72(2), 360-399.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Newcomb, S. (1881). Note on the Frequency of Use of the Different Digits in Natural Numbers. *American Journal of Mathematics*, 4(1), 39–40.
- Nigrini, M. J. (1996). A Taxpayer Compliance Application of Benford's Law. *The Journal of the American Taxation Association*, 18(1), 72.
- Nigrini, M. J. (1999). I've Got Your Number. *Journal of Accountancy*, Vol. 187, 79-83.
- Nigrini, M.J. (2012). *Benford's Law: Applications for Forensic Accounting, Auditing, and Fraud Detection*. John Wiley ve Sons. Hoboken, New Jersey.
- OECD (2022). *Strengthening Analytics in Mexico's Supreme Audit Institution: Considerations and Priorities for Assessing Integrity Risks*, OECD Public Governance Reviews. OECD Publishing, Paris.
- Otia, J. E. ve Bracci, E. (2022). Digital Transformation and the Public Sector Auditing: The SAI's perspective. *Financial Accountability ve Management*, 38, 252–280.
- Öncü, M. A., Yücel, R. ve Özevin, O. (2018). Benford Analizi ile Muhasebe Denetimi: Kamu Hastaneleri Üzerine Bir Uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 80, 1-22.
- Özdemir, H. ve Yelboğa, A. (2025). Yapay Zekâ Destekli Denetimin Kamu Harcamalarındaki Rolü: Sayıştay Örneği. *Sayıştay Dergisi*, 36(139), 771–802.
- Pamisetty, V. (2021). Big Data and Predictive Analytics in Government Finance: Transforming Fraud Detection and Fiscal Oversight. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 10(12), 25731-25755.
- Pinkham, R. S. (1961). On the Distribution of First Significant Digits. *The Annals of Mathematical Statistics*, 32(4), 1223–1230.

- Popoola, T. (2023). Big Data-Driven Financial Fraud Detection and Anomaly Detection Systems for Regulatory Compliance and Market Stability. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 12 (9), 32–46.
- Restrepo-Carmona, J. A., Zuluaga, J. C., Velásquez, M., ..... ve Vásquez, R. E. (2024). Smart Supervision of Public Expenditure; A Review on Data Capture, Storage, Processing, and Interoperability with a Case Study from Colombia. *Information*, 15(10), 616.
- Rosner, B. (1983). Percentage Points for a Generalized ESD Many-Outlier Procedure. *Technometrics*, 25(2), 165–172.
- Rousseeuw P. ve Hubert M. (2018). Anomaly Detection by Robust Statistics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8, 1391-1402.
- Schultz, M. ve Tropmann-Frick, M. (2020). Autoencoder Neural Networks Versus External Auditors: Detecting Unusual Journal Entries in Financial Statement Audits, In *Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 5421-5430.
- Setyawan, E. C. (2020). The Use of Benford's Law in Performance Audit to Detect Fraud in The State Expenditure transactions Assisted by Idea Software (A Case Study at the Transportation Ministry Work Units). *Asia Pacific Fraud Journal*, 5(1), 147–159.
- Shalhoob, H., Halawani, B., Alharbi, M. ve Babiker, I. (2024). The Impact of Big Data Analytics on The Detection of Errors And Fraud in Accounting Processes. *Revista De Gestão RGSA*, 18(1), e06115.
- Sharma A. ve Panigrahi P.K. (2013). A Review of Financial Accounting Fraud Detection based on Data Mining Techniques. *International Journal of Computer Applications*. 39, 37-47.
- Silva, W. B. da, Travassos, S. K. de M. ve Costa, J. I. de F. (2017). Using the Newcomb-Benford Law as a Deviation Identification Method in Continuous Auditing Environments: A Proposal for Detecting Deviations over Time *Revista Contabilidade ve Finanças USP*, 28(73), 11-26.
- Silva, J.O. ve Boente, D.R. (2023). Use of Newcomb-Benford Law: A Contribution to Accounting Compliance Audit in The Federal Network of Professional and Technological Education. *Advances in Scientific and Applied Accounting*, 16(1), 185-200.
- Uzun, Y. ve Uzun, F. N. (2025). Algoritmik Denetim Çağında Sayıştay: Yapay Zekâ Destekli Kamu Denetiminin Olanakları ve Sınırları. *Sayıştay Dergisi*, 36(139), 711-742.

- Volodina, T. ve Grossi, G. (2025). Digital Transformation in Public Sector Auditing: Between Hope and Fear. *Public Management Review*, 27:5, 1444-1468,
- Wirjadinata, D., Sugiharto, A. ve Tarno, T. (2023). The Use of Machine Learning to Detect Financial Transaction Fraud: Multiple Benford Law Model for Auditors. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, 9(2), 239-252.
- Xu, X., Weber, I., Staples, M., Zhu, L., Bosch, J., Bass, L., Pautasso, C. ve Rimba, P. (2017). A Taxonomy of Blockchain-Based Systems for Architecture Design, *International Conference on Software Architecture (ICSA)*, 243-252.
- Yaro A. S., Maly F., Prazak P. ve Malý K. (2024). Outlier Detection Performance of a Modified Z-Score Method in Time-Series RSS Observation With Hybrid Scale Estimators, in *IEEE Access*, vol. 12, 12785-12796.
- Yıldız, M. S. (2018). Benford Yasasının Veri Doğruluğunun Değerlendirilmesi Amaçlı Kullanımı: Hastane Verileri için Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 25(3), 849-861.
- Yudhistira ve Nengzih, N. (2021). Benford's Law Analysis to Determine Audit Priorities (Case Study on the 2020 Central Government Financial Statement Audit). *Saudi Journal of Economics and Finance (SJEF)*, 5(9), 397-410.
- Zhang, A., Deng, S., Cui, D., Yuan, Y. ve Wang, G. (2023). An Experimental Evaluation of Anomaly Detection in Time Series. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 17(3), 483-496.
- Zimek, A. ve Filzmoser, P. (2018). There and Back Again: Outlier Detection Between Statistical Reasoning and Data Mining Algorithms. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(6).

## **STATISTICAL ANOMALY DETECTION IN THE AUDIT OF PUBLIC FINANCIAL MANAGEMENT: BENFORD'S LAW AND ALTERNATIVE METHODS**

**Büşra ÇİÇEKLi**  
**Dürdane KÜÇÜKAYCAN**

### **EXTENDED ABSTRACT**

Digitalization in public financial management has brought about a profound transformation in the scope and methods of public auditing by enhancing traceability, comparability, and data accessibility. Enterprise resource planning and e-procurement systems, API-based applications, and time-stamped records stored in cloud environments enable a shift from sample-based, periodic audit approaches toward continuous monitoring and risk-based models. In parallel with this transformation, the focus of auditing has moved beyond the accuracy of financial statements to encompass the reliability of processes, data lineage, and analytical tools. Within this data-intensive environment, anomaly detection has become a core audit instrument, identifying key risk indicators such as unusual amount and timing clusters, transaction splitting, unit price deviations, and irregularities in digit distributions. Accordingly, this study aims to examine statistical anomaly detection in public financial auditing within the framework of Benford's Law and complementary methods, proposing a layered and sequential application approach adaptable to diverse data ecosystems rather than advocating a single "best" technique.

In the context of statistical anomaly detection, Benford's Law provides a rapid and low-cost preliminary screening tool for identifying potential inconsistencies and manipulations in large numerical datasets. However, the method does not constitute a normative judgment or direct audit evidence and should therefore be interpreted as a prioritization signal. Its effectiveness is sensitive to data structure, sampling frameworks, and institutional accounting practices. In heterogeneous data environments, segmentation-based multiple applications tend to improve detection accuracy. Nonetheless, identified outliers should not be treated as final conclusions but as provisional indicators guiding field verification and advanced audit procedures.

Traditional statistical methods offer a robust framework for detecting localized irregularities, yet their pattern-recognition capacity weakens as data complexity and dimensionality increase. In such contexts, artificial intelligence (AI)-based approaches, including machine learning (ML) and deep learning (DL), provide powerful tools for disentangling complex relationships and high-dimensional patterns. Supervised learning leverages previously identified irregularities, while unsupervised learning facilitates the discovery of novel or unexpected risks. Natural language processing (NLP) techniques further enhance audit accuracy by extracting recurring patterns and risk signals from text-based data such as tender announcements, contract clauses, and journal entry descriptions.

Blockchain technology functions not as an analytical technique but as an infrastructure ensuring transaction integrity and immutability. By enabling not only ex post detection but also real-time verification of transactions, blockchain strengthens the traceability and defensibility of audit findings. In this regard, the most effective approach is a layered and hybrid anomaly detection architecture that integrates Benford's Law-based macro screening, traditional statistical deepening, context-specific threshold calibration, ML/DL-based micro-level validation where data richness permits, and blockchain-supported lifecycle management of audit evidence.

The study emphasizes that method selection in anomaly detection should not rely solely on technical performance metrics. Contextual suitability, explainability, resource requirements, and governance implications must be jointly considered. Audit information systems should therefore be designed with modular architectures capable of feeding Benford indicators into ML models and linking blockchain-based transaction trails. Such an approach enhances the validity, interpretability, and operational efficiency of audit findings, thereby strengthening accountability and transparency in public financial management.