

## Finansal Kaynakların Çıktıya Dönüşüm Etkinliği: BIST Maden Şirketlerinde Veri Zarflama Analizi

Servet SAY\* 

Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler MYO, Muhasebe ve Vergi Bölümü, Konya, Türkiye

### Makale Bilgisi

### ÖZET

**Geliş Tarihi:** 01/03/2026  
**Kabul Tarihi:** 24/06/2026  
**Yayın Tarihi:** 28/06/2026

**Anahtar Kelimeler:**  
Finansal Kaynak Dönüşümü,  
Çıktı Odaklı Etkinlik,  
Veri Zarflama Analizi.

**JEL Kodları:**  
C61, G32, L72

Bu çalışma, Borsa İstanbul'da (BIST) işlem gören maden şirketlerinde finansal kaynakların operasyonel çıktılara dönüşüm etkinliğini Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemiyle incelemektedir. Sermaye yoğun yapısı, yüksek sabit maliyetleri ve emtia fiyatlarındaki dalgalanmalara duyarlılığı nedeniyle madencilik sektöründe finansal kaynakların etkin kullanımı sürdürülebilir performans ve rekabet gücü açısından kritik öneme sahiptir. Araştırma, 2014–2023 döneminde BIST'te faaliyet gösteren beş maden şirketini kapsamaktadır. Analizde Toplam Aktifler, Satışların Maliyeti ve Faaliyet Giderleri girdi değişkenleri; Satış Gelirleri ve Net Esas Faaliyet Kârı/Zararı çıktı değişkenleri olarak belirlenmiş; mevcut finansal kapasite altında gelir ve faaliyet kârlılığını maksimize etme düzeyini ölçmek amacıyla çıktı odaklı CCR ve BCC modelleri uygulanmıştır. Bulgular, firmalar ve dönemler arasında anlamlı etkinlik farklılıkları bulunduğunu göstermekte; bazı firmaların tüm dönem boyunca etkin sınır üzerinde yer aldığı, bazılarının ise özellikle belirli yıllarda çıktı yetersizliği ve ölçek uyumsuzluğu nedeniyle etkin sınırın altında kaldığı tespit edilmektedir. Sonuçlar, etkinsizliklerin temel olarak aşırı girdi kullanımından ziyade satış ve faaliyet kârlılığı üretme kapasitesindeki yetersizlikten kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Çalışma, sermaye yoğun bir sektörde finansal yapı ile performans arasındaki ilişkiyi çok girdili ve çok çıktılı bir çerçevede analiz ederek literatüre ampirik katkı sunmakta ve yöneticiler ile yatırımcılar açısından benchmarking ve kaynak tahsisine yönelik stratejik çıkarımlar üretmektedir.

## Financial Input Transformation and Output Efficiency: A DEA Assessment of BIST Mining Firms

### Article Info

### ABSTRACT

**Received:** 01/03/2026  
**Accepted:** 24/06/2026  
**Published:** 28/06/2026

**Keywords:**  
Financial Resource  
Transformation,  
Output-Oriented Efficiency,  
Data Envelopment Analysis.

**JEL Codes:**  
C61, G32, L72

This study examines the efficiency of transforming financial resources into operational outputs in mining firms listed on Borsa İstanbul (BIST) using Data Envelopment Analysis (DEA). Due to its capital-intensive structure, high fixed cost components, and sensitivity to commodity price fluctuations, the mining sector requires efficient utilization of financial resources to ensure sustainable performance and competitiveness. The analysis covers five BIST-listed mining companies over the period 2014–2023. Total Assets, Cost of Sales, and Operating Expenses are employed as input variables, while Sales Revenue and Net Operating Profit/Loss are defined as output variables. An output-oriented DEA framework incorporating both CCR and BCC models is applied to evaluate firms' ability to maximize revenue and operating profitability under their existing financial capacity. The findings reveal significant efficiency differences across firms and years; while some companies consistently operate on the efficiency frontier, others fall below the frontier in certain periods due to output shortfalls and scale inefficiencies. The results indicate that inefficiencies are primarily associated with insufficient revenue and operating profit generation rather than excessive input usage. By analyzing the relationship between financial structure and performance within a multi-input, multi-output framework in a capital-intensive sector, the study provides empirical evidence from an emerging market context and offers strategic implications for benchmarking practices and resource allocation decisions for managers and investors.

### Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Say, S. (2026). Finansal kaynakların çıktıya dönüşüm etkinliği: BIST maden şirketlerinde veri zarflama analizi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 263-282. DOI: 10.51124/jneusb.2026.142

\*Sorumlu Yazar: Servet SAY, [servetsay@selcuk.edu.tr](mailto:servetsay@selcuk.edu.tr)



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

## **GİRİŞ**

Doğal kaynaklara dayalı sektörler, küresel ekonomide stratejik öneme sahip olup özellikle sermaye yoğun yapıları nedeniyle finansal yönetim açısından özel bir konumda yer almaktadır. Madencilik sektörü; yüksek sabit maliyet yapısı, önemli düzeyde varlık yatırımı gereksinimi ve emtia fiyatlarındaki dalgalanmalara duyarlılığı nedeniyle finansal kaynakların etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda firmaların sahip oldukları finansal girdileri ne ölçüde etkin biçimde çıktıya dönüştürebildikleri, performans değerlendirme literatüründe önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Kaynak temelli yaklaşım (Resource-Based View), işletmelerin rekabet avantajının sahip oldukları kaynakların etkin kullanımına bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Barney, 1991). Bu perspektiften bakıldığında finansal kaynakların satış geliri ve faaliyet kârlılığına dönüşüm etkinliği, firma performansının belirleyici unsurlarından biri olarak değerlendirilebilir.

Finans literatüründe işletme performansı genellikle kârlılık oranları, piyasa değeri göstergeleri veya finansal oran analizleri aracılığıyla ölçülmektedir. Ancak bu geleneksel göstergeler, işletmelerin sahip oldukları kaynakları ne ölçüde etkin kullandıkları sorusuna doğrudan yanıt vermemektedir. Özellikle toplam varlıklar, borç yapısı ve özkaynak büyüklüğü gibi finansal girdilerin çıktıya dönüşüm sürecindeki verimliliği, klasik oran analizleri ile tam anlamıyla ortaya konulamamaktadır. Bu noktada Veri Zarflama Analizi (VZA), karar birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmek amacıyla geliştirilen doğrusal programlama temelli parametrik olmayan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Charnes vd., 1978). Daha sonra Banker vd. (1984) tarafından geliştirilen model ile değişken getiri varsayımı altında etkinlik ölçümü mümkün hale gelmiştir. VZA yöntemi, özellikle homojen karar birimleri arasında çoklu girdi ve çıktının eş zamanlı değerlendirilmesine olanak tanınması bakımından işletme ve finans literatüründe yaygın biçimde kullanılmaktadır (Cooper vd., 2007).

Bu bağlamda, Veri Zarflama Analizi (VZA), işletmelerin göreceli etkinlik düzeylerini ölçmek için sıklıkla başvurulan güçlü bir yöntemdir. VZA, karar verme birimlerinin (KVB) çoklu girdi ve çoklu çıktı yapıları altında etkinlik skorlarını hesaplayarak, en iyi performans gösteren birimleri referans kümesi olarak belirlemekte ve diğer birimlerin bu sınırdan sapmalarını ölçmektedir. Yöntemin parametrik olmaması, üretim fonksiyonu varsayımı gerektirmemesi ve finansal oranların ötesine geçerek yapısal etkinliği ölçebilmesi, özellikle sermaye yoğun sektörlerde önemli avantajlar sunmaktadır. Çıktı odaklı VZA modeli, mevcut girdi düzeyi sabitken çıktıların ne ölçüde artırılabilirliğini analiz ederek firmaların çıktı maksimize etme kapasitesini ölçmektedir. Bu yaklaşım, sermaye yapısının kısa vadede kolaylıkla değiştirilemediği sektörlerde daha anlamlı sonuçlar sunmaktadır. Özellikle madencilik gibi yüksek varlık yoğunluğuna sahip sektörlerde, toplam aktifler ve maliyet bileşenleri altında satış geliri ve faaliyet kârı üretme kapasitesinin değerlendirilmesi, firmaların operasyonel etkinlik düzeylerinin anlaşılması açısından önemlidir. Literatürde VZA yönteminin bankacılık, üretim ve enerji sektörlerinde yaygın biçimde kullanıldığı görülmekle birlikte (Emrouznejad & Yang, 2018), maden sektörüne yönelik çalışmalar görece sınırlıdır. Türkiye bağlamında ise Borsa İstanbul'da işlem gören maden şirketlerinin finansal dönüşüm etkinliğini çıktı odaklı bir perspektifle inceleyen ampirik çalışmaların sayısı oldukça azdır. Bu durum, sektöre özgü etkinlik analizlerine duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Madencilik sektöründe finansal kaynakların etkin kullanımı, yalnızca işletme düzeyinde değil, makroekonomik düzeyde de önem taşımaktadır. Türkiye'de madencilik sektörü, ihracat gelirleri, ara malı üretimi ve sanayiye girdi sağlama açısından stratejik bir konuma sahiptir. Borsa İstanbul'da işlem gören maden şirketleri ise hem finansal şeffaflık hem de veri erişilebilirliği açısından analiz için uygun bir örnek sunmaktadır. Bununla birlikte, literatürde BIST sektör bazlı etkinlik analizleri bulunmakla birlikte, maden sektörüne özgü finansal kaynakların çıktıya dönüşüm etkinliğini doğrudan inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Sermaye yapısı ile performans arasındaki ilişki uzun süredir finans literatürünün temel tartışma alanlarından biridir. Borçlanma düzeyi, özkaynak yapısı ve toplam varlık büyüklüğü gibi finansal değişkenlerin kârlılık üzerindeki etkisi çoğunlukla regresyon temelli yöntemlerle analiz edilmiştir. Ancak bu yaklaşım, girdilerin birlikte oluşturduğu bütüncül etkiyi ölçmekte yetersiz kalabilmektedir. Örneğin, yüksek varlık büyüklüğü tek başına yüksek performans anlamına gelmeyebilir; aynı şekilde borçluluk düzeyi yüksek olan bir işletme, etkin yönetim sayesinde yüksek çıktı üretme kapasitesine sahip olabilir. Dolayısıyla önemli olan, finansal kaynakların mutlak büyüklüğü değil, bu kaynakların çıktı üretme kapasitesine dönüşüm etkinliğidir.

Bu çalışmada, BIST Maden sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal kaynaklarını ne ölçüde çıktıya dönüştürebildikleri çıktı odaklı VZA yaklaşımı ile analiz edilmektedir. Bu yaklaşım, “mevcut finansal yapı sabitken işletme çıktısını ne kadar artırabilir?” sorusuna yanıt aramaktadır. Çalışmada girdi değişkenleri olarak toplam varlıklar, toplam kısa vadeli yükümlülükler, toplam uzun vadeli yükümlülükler ve özkaynaklar; çıktı değişkenleri olarak ise net dönem kârı (zararı), hasılat, aktif kârlılık oranı (ROA) ve özkaynak kârlılık oranı (ROE) kullanılmaktadır. Bu değişken seçimi, finansal kaynak yapısını temsil eden bilanço kalemleri ile performansı temsil eden gelir ve oran göstergelerini birlikte değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Böylece analiz, yalnızca mutlak kârlılık değil, kârlılığın finansal yapı ile etkileşimini de dikkate almaktadır.

VZA literatüründe ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan CCR Model ve ölçeğe göre değişken getiri varsayımını esas alan BCC Model modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada her iki modelin birlikte uygulanması planlanmaktadır. Böylece firmaların hem toplam teknik etkinlik düzeyleri hem de saf teknik etkinlik düzeyleri ölçülebilecek, ayrıca ölçek etkinliği ayrı olarak hesaplanabilecektir. Bu yaklaşım, özellikle büyük ölçekli maden şirketlerinin ölçek avantajı mı yoksa yönetsel etkinlik mi sayesinde yüksek performans gösterdiklerinin ayrıştırılmasına imkân tanımaktadır.

Madencilik sektörü açısından etkinlik analizi, risk yönetimi ve finansal sürdürülebilirlik bakımından da önemlidir. Emtia fiyatlarının küresel dalgalanmalara açık olması, kur riski ve finansman maliyetlerindeki değişkenlik, sektörde faaliyet gösteren firmaların finansal dayanıklılıklarını test etmektedir. Etkin olmayan firmalar, aynı girdi düzeyine sahip etkin firmalara kıyasla daha düşük çıktı üretmekte ve potansiyel kaynak israfına işaret etmektedir. Bu durum, yatırımcılar açısından risk sinyali oluşturabileceği gibi, yöneticiler açısından da yeniden yapılandırma ihtiyacına işaret edebilir.

Bu çalışma literatüre üç temel katkı sunmaktadır. İlk olarak, BIST Maden sektöründe finansal kaynakların çıktıya dönüşüm etkinliğini çok girdili ve çok çıktılı bir çerçevede analiz ederek sektörel düzeyde özgün ampirik bulgular üretmektedir. İkinci olarak, yalnızca kârlılık oranlarına dayalı değerlendirmelerin ötesine geçerek finansal yapı ile performans arasındaki ilişkiyi etkinlik perspektifinden ele almaktadır. Üçüncü olarak, CCR ve BCC modellerinin birlikte uygulanması yoluyla ölçek etkinliği boyutunu da inceleyerek, büyük ve küçük ölçekli firmalar arasındaki yapısal farklılıkları ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın özgünlüğü BIST Maden sektörüne yönelik yalnızca teknik etkinliği değil, aynı zamanda ölçek etkinliğini de CCR ve BCC modellerini birlikte kullanarak analiz etmesidir. Ayrıca finansal oran analizlerinin ötesine geçilerek çok girdili ve çok çıktılı bir yapı içerisinde finansal yapı ile performans arasındaki ilişki etkinlik perspektifinden ele alınmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, BIST Maden sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal kaynaklarını ne ölçüde etkin biçimde çıktıya dönüştürebildiklerini Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi ile ortaya koymaktır. Bu doğrultuda firmaların teknik etkinlik ve ölçek etkinlik düzeyleri CCR ve BCC modelleri kullanılarak analiz edilmektedir. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş kısmına yer verilmiştir. İkinci bölümde ilgili literatür incelenmiştir. Üçüncü bölümde araştırmanın yöntemi ve veri seti açıklanmıştır. Dördüncü bölümde analiz bulgularına yer verilmiş, beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılarak genel değerlendirme ve öneriler sunulmuştur.

## LİTERATÜR TARAMASI

Performans ölçümü ve etkinlik analizi literatürü, özellikle sermaye yoğun sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler açısından giderek artan bir önem taşımaktadır. Geleneksel finansal oran analizlerinin tek boyutlu yapısı, çoklu girdi ve çıktı ilişkilerinin söz konusu olduğu karmaşık üretim süreçlerini açıklamada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda görece etkinlik ölçümüne imkân tanıyan parametrik olmayan yöntemler, özellikle Veri Zarflama Analizi (VZA), performans değerlendirme çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. VZA yöntemi; bankacılık, enerji, üretim ve ulaştırma gibi farklı sektörlerde firma etkinliğini ölçmek amacıyla geniş bir uygulama alanı bulmuş olup, finansal girdilerin çıktılarına dönüşüm kapasitesinin analizinde önemli bir araç haline gelmiştir. Bununla birlikte maden sektörü gibi yüksek varlık yoğunluğuna sahip alanlarda finansal kaynakların satış geliri ve faaliyet kârlılığına dönüşüm etkinliğini bütüncül bir yaklaşımla ele alan çalışmalar görece sınırlı kalmaktadır. Özellikle gelişmekte olan piyasalar bağlamında sektörel düzeyde gerçekleştirilen ampirik etkinlik analizleri, literatürde dikkat çekici bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir. Bu çerçevede, literatürde öne çıkan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kumar ve Gulati (2008) çalışmasında, Hindistan bankacılık sektöründe faaliyet gösteren kamu ve özel sermayeli bankaların teknik ve ölçek etkinlik düzeyleri Veri Zarflama Analizi yöntemiyle incelenmiştir. Araştırmada hem sabit getiri varsayımına dayalı CCR modeli hem de değişken getiri varsayımına dayalı BCC modeli kullanılarak bankaların görece etkinlik skorları hesaplanmıştır. Çalışmada mevduat, personel giderleri ve faiz giderleri gibi finansal girdiler; kredi hacmi ve faiz gelirleri gibi çıktı değişkenleri üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, bankalar arasında anlamlı etkinlik farklılıkları bulunduğunu ve özellikle ölçek etkinliğinin performans üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca bazı bankaların teknik olarak etkin olmalarına rağmen ölçek açısından etkin çalışmadıkları tespit edilmiştir. Çalışma, finansal girdilerin gelir üretimine dönüşüm sürecinin çok boyutlu değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koyarak DEA yönteminin finansal performans analizindeki önemini vurgulamıştır.

Sueyoshi ve Goto (2011) çalışmasında ise Japonya enerji sektöründe faaliyet gösteren elektrik üretim şirketlerinin operasyonel ve finansal performansı DEA yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada maliyet unsurları ve varlık büyüklüğü gibi girdiler ile satış geliri ve kârlılık göstergeleri gibi çıktılar birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmada özellikle çevresel ve finansal performansın bütüncül biçimde ele alınması hedeflenmiş, firmaların çıktı artırma potansiyelleri analiz edilmiştir. Bulgular, sermaye yoğun sektörlerde maliyet yapısının çıktı üretme kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve bazı firmaların mevcut kaynakları altında potansiyel çıktı seviyesinin altında faaliyet gösterdiğini göstermiştir. Çalışma, çıktı odaklı etkinliğin özellikle yüksek sabit maliyetli sektörlerde performans değerlendirmesi açısından anlamlı sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur.

Dizkırıncı (2014), çalışmasında gıda sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin verimliliklerini karşılaştırmak için Borsa İstanbul'a kote olan 8 adet işletmenin 2010-2012 yılları arası finansal oranlarını kullanmışlardır. Çalışmada 5 girdi (cari oran, kaldıraç oranı, asit-test oranı, alacak tahsil süresi ve stok tüketim süresi) ve 2 çıktı (toplam varlık karlılığı ve satış karlılığı) değişkeni kullanılarak girdiye yönelik CCR VZA modeli ile performans ölçülmüş ve Malmquist Endeksi ile her bir işletmenin verimliliği yıllara göre karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Ülker'in hem veri zarflama analiziyle hem de Malmquist Endeksi'ne göre üç yılda da verimli olduğunu göstermektedir.

Orçun vd. (2014), çalışmalarında İMKB 100 Endeksi'nde yer alan ve imalat sektöründe faaliyet gösteren 25 işletmenin 2008 krizi öncesi (2006 ile 2007) ve sonrasındaki (2009 ile 2010) dönemlere ilişkin etkinlik düzeylerini girdiye yönelik CCR veri zarflama analizi modeli ile ölçmüşlerdir. Çalışmada 5 girdi (cari oran, alacak devir hızı, stok devir hızı, uzun vadeli borç/öz sermaye oranı ve finansal kaldıraç oranı) ve 2 çıktı (aktif karlılığı ve öz sermaye karlılığı) değişkeni kullanılmıştır. Çalışma

sonucunda, kriz öncesi ve kriz sonrası olmak üzere her dört yılda da Otokar Otomotiv, Koza Anadolu Metal Madencilik ve Turcas Petrol işletmeleri etkin iken; her dört yılda da OMV Petrol Ofisi, Karsan Otomotiv ve Ülker Bisküvi işletmeleri etkin olmadığı belirtilmiştir.

Hosseinzadeh vd. (2016) çalışmasında, Avustralya madencilik sektöründeki büyük ölçekli firmaların etkinlik performansı, Bootstrap Data Envelopment Analysis (Bootstrap DEA) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma, 2008–2014 dönemini kapsayan 33 madencilik şirketini örneklem almış ve VRS (Variable Returns to Scale) varsayımı altında performans skorlarının istatistikî güven aralıklarıyla değerlendirilmesini hedeflemiştir. Girdi değişkenleri olarak iş gücü, sabit varlıklar ve maliyet unsurları kullanılırken; çıktı değişkenleri olarak gelir düzeyleri ve kârlılık göstergeleri temel alınmıştır. Bootstrap DEA yaklaşımı, klasik DEA skorlarının varyans ve belirsizliğini kontrol etme avantajı sunarak etkinlik skorlarının daha güvenilir çıkarımlarını sağlamıştır. Analiz sonuçları, metal işleme ve madencilik hizmetleri faaliyet alanındaki şirketlerin; keşif ve çıkarım faaliyetlerinden daha yüksek etkinlik skorlarına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Zaman içinde firma bazında etkinlik kazançları ve kayıpları arasında farklılaşmalar gözlemlenmiş olup; genel eğilimin etkinliğin artışı yönünde olduğu raporlanmıştır. Bu bulgular, sermaye yoğun sektörlerde performans değerlendirmelerinde firma türleri ve faaliyet alanlarının önemli farklılıklar gösterdiğini göstermektedir

Öztürk (2016), BİST Taş Toprak Endeks'i içerisinde yer alan 9 adet çimento işletmesinin 2010-2014 yılları arasındaki etkinliğini tespit etmek amacıyla girdiye yönelik CCR veri zarflama analizi modelini kullanmıştır. Satışların maliyeti/satışlar, genel yönetim giderleri/satışlar ve pazarlama satış ve dağıtım giderleri/satışlar girdi değişkenleri; aktif karlılığı ve öz kaynak karlılığı çıktı değişkenleri olarak analize dahil edilmiştir. Elde Edilen bulgulara göre Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. İşletmesinin incelenen tüm dönemlerde görece olarak tam etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Liu vd. (2016) çalışmasında, Çin'in Shanxi ve İç Moğolistan bölgelerindeki kömür madenciliği endüstrilerinin performans etkinliği, Veri Zarflama Analizi (DEA) çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu araştırma, 2005–2012 dönemi panel verisi kullanılarak konsolidasyon politikalarının etkinlik üzerindeki etkilerini analiz etmek üzere tasarlanmıştır. Girdi değişkenleri arasında iş gücü ve sermaye stokuna yer verilirken çıktı değişkenleri üretim çıktısı ve diğer performans göstergelerini kapsamaktadır. Çalışmadaki modeller, hem operasyonel etkinlik hem de çevresel sürdürülebilirlik perspektifleriyle DEA aracılığıyla ölçülen birleşik etkinlik skorlarını ortaya koymaktadır. Sonuçlar, piyasa odaklı konsolidasyon politikalarının, ulusal düzeyde uygulanan düzenlemelere göre hem ekonomik hem de çevresel performans üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermiştir. Bu bağlamda çalışma, madencilik sektöründe hem sürdürülebilirlik hem de etkinlik analizini birlikte ele alan önemli bir ampirik örnek oluşturmaktadır.

Çelik ve Ayan (2017) BİST'te 2010 ile 2014 yılları arasında imalat sanayi sektöründeki işletmelerin kaynaklarını etkin ve verimli bir şekilde kullanıp kullanmadıklarını tespit etmek amacıyla veri zarflama analizini kullanmışlardır. Çalışmada aktif devir hızı, özsermaye devir hızı, duran varlık devir hızı, alacak devir hızı, stok devir hızı ve toplam aktifler girdi değişkeni olarak yer alırken, aktif karlılık oranı, özsermaye karlılık oranı, faaliyet karlılık oranı ve net satışlar çıktı değişkenleri olarak yer almaktadır. Yapılan analiz sonucunda imalat sanayi sektöründe etkin olan ve etkin olmayan şirketler alt sektör bazında tespit edilmiş ve etkin olmayan şirketler için önerilerde bulunulmuştur.

Zhu vd. (2018) çalışmasında, Çin'in madencilik ve taşocakçılık endüstrisinin yeşil toplam faktör verimliliği (GTFP) küresel ölçekte Veri Zarflama Analizi (DEA) ile değerlendirilmiştir. Araştırmada 1991–2014 dönemi için bölgesel panel veri kullanılarak yeşil TFP artışı hem teknik hem ölçek hem de yönetim etkinliği üzerinden incelenmiştir. Çalışmada istenmeyen çıktılar (çevre kirliliği, emisyonlar) dahil olmak üzere geleneksel çıktılarla birlikte değerlendirme yapılmış; bu sayede sektörün ekonomik büyüme ile çevresel performansı arasındaki etkileşim ortaya konmuştur. Bulgular, Çin madencilik

endüstrisinin yeşil TFP'sinin örnek dönem boyunca %70'in üzerinde arttığını ve teknolojik ilerlemenin bu artışta en önemli katkıyı sağladığını göstermiştir. Ayrıca ölçek ve yönetim etkinliklerindeki farklılıkların alt sektörler göre değiştiği tespit edilmiştir. Bu çalışma, DEA'nın çevresel çıktılarla birlikte çok boyutlu performans analizi için güçlü bir araç olduğuna işaret etmekte, veri yoğun ve sermaye ağırlıklı sektörlerde sürdürülebilir büyüme ölçümlerine yönetsel bir çerçeve sunmaktadır.

Liu vd. (2019) çalışmasında, Çin'in en büyük kömür madenciliği alanlarındaki dairesel ekonomi sisteminin eko-etkinliği, Veri Zarflama Analizi (DEA) ve emergy analizinin birlikte kullanıldığı bir çerçevede değerlendirilmiştir. Araştırma 2006–2015 dönemi için Shanxi Bölgesi'ni örneklem olarak almış ve DEA'nın SBM-undesirable (istenmeyen çıktılarla) modeli ile hem ekonomik hem de çevresel etkinlik boyutlarını eşzamanlı olarak analiz etmiştir. Bu bağlamda emergy akışına dayalı girişimler, enerji akışlarının ortak ölçek birimi olarak kullanılarak sosyal, ekonomik ve çevresel girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bulgular, eko-etkinliğin genel olarak düşük olduğunu ve özellikle çevresel etkinliğin 2006–2015 döneminde belirli yıllar dışında önemli derecede zayıf kaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca çalışma, ekonomik etkinlik ile çevresel etkinlik arasındaki pozitif ilişkiyi vurgulayarak dairesel ekonomiyi benimseyen madencilik bölgelerinde sürdürülebilir büyüme için çıktı artış potansiyelinin ne denli önemli olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, DEA'nın çıktılara dönüşüm analizini çevresel veri ve ekonomiye bağlayan önemli ampirik bir örnek teşkil etmektedir.

Yang ve Chen (2021) çalışmasında, Çin'deki kentsel atıksu arıtma tesislerinin enerji verimliliğini Veri Zarflama Analizi (DEA) kullanarak değerlendiren ampirik bir model geliştirilmiş; bu modelde tesisler için yük oranı, tasarım kapasitesi, elektrik tüketimi, çamur üretimi ve arıtılan hacim gibi çoklu girdi değişkenleri ile kirletici giderim çıktıları (COD, BOD, SS, NH<sub>3</sub>-N, TN, TP) birlikte analiz edilmiştir ve bu sayede tesislerin enerji kullanım etkinlikleri karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur. Çalışmada 2018 yılı verileriyle yapılan analiz sonucu, bazı tesislerin ulusal ortalamanın oldukça altında elektrik tüketimiyle daha yüksek etkinlik değerlerine ulaştığı görülmüş; ayrıca Malmquist endeksi kullanılarak yapılan dinamik verimlilik değerlendirmesinde tesislerin bir kısmının teknik etkinliklerini artırdığı kaydedilmiştir. Bölgesel farklılıklara bakıldığında batı bölgelerindeki tesislerin yenilenebilir enerji oranı daha yüksek ve daha iyi enerji verimliliği performansı sergilediği, buna karşılık doğu ve orta bölgelerde daha düşük etkinlik ve yüksek kirletici emisyon seviyeleri gözlemlendiği ifade edilmiştir. Bu bulgular, atıksu arıtma sektöründe enerji verimliliği analizlerinin yalnızca teknik değil çevresel çıktılarla ilişkili çok boyutlu performans ölçümleriyle yapılmasının önemini vurgulamaktadır.

Medeiros vd. (2022) çalışmasında, elektrik dağıtım şirketlerinin performans değerlendirilmesinde Veri Zarflama Analizi (DEA) uygulamaları incelenmiş ve özellikle DEA'nın geleneksel etkinlik skorlarının yanı sıra çapraz etkinlik analizi (cross-efficiency) ve oran-temelli etkinlik analizi gibi ileri benchmarking tekniklerinin nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır; bu bağlamda Brezilya elektrik dağıtım sistemi bir örnek olay olarak ele alınmış ve DEA modellerine ağırlık kısıtlamaları ile negatif çıktılar dahil edilmesinin etkinlik skorlarının duyarlılığı üzerinde önemli etkileri olduğu gösterilmiş, ayrıca çok çeşitli coğrafi ve ekonomik koşullara sahip dağıtım bölgelerinde DEA tabanlı skorların kararlılık ve karşılaştırılabilirlik açısından değerlendirilebilmesi için alternatif benchmarking yaklaşımlarının faydalı olduğu vurgulanmıştır.

Wang, Liu ve Zhang (2022) çalışmasında, binalarda enerji tasarrufu sağlayan iyileştirme projelerinin (BERPs) verimliliği, üç aşamalı Veri Zarflama Analizi (DEA) modeli kullanılarak değerlendirilmiş ve literatürde hangi tür bina iyileştirme projelerinin enerji verimliliğini artırmada daha etkili olduğuna dair analitik bir çerçeve sunulmuştur; çalışma sonucunda, projelerin düşük etkinlik göstermesinin başlıca nedeni ölçek yetersizliği olarak belirlenmiş ve bina türlerine göre karşılaştırmalarda alışveriş merkezlerindeki BERPs'nin en yüksek enerji tasarrufu verimliliğine sahip olduğu, ardından çok fonksiyonlu ve otel yapılarının geldiği ortaya konmuştur; ayrıca iyileştirme hedefi

olarak ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerine odaklanan BERPs'nin bina zarfi iyileştirmelerine kıyasla daha yüksek enerji tasarrufu etkinliği sunduğu ve coğrafi olarak inşaat sektörünün gelişmiş olduğu bölgelerde ölçek büyüklüğünün artırılmasının projelerin enerji tasarrufu etkisini olumlu yönde etkilediği vurgulanmıştır, bu da DEA'nın sürdürülebilir enerji verimliliği analizlerinde yalnızca teknik etkinlik göstergeleriyle sınırlı kalmayıp politika ve uygulama önceliklerinin belirlenmesinde de kullanılabileceğini göstermektedir.

Agüero-Tobar vd. (2023), liman operasyonlarının etkinliğini Veri Zarflama Analizi (DEA) ile değerlendirerek denizcilik operasyonlarının verimliliğini ve bu etkinliğin ekonomik etkilerini analiz etmişlerdir; yazarlar, liman süreçlerinin küresel ticarete kritik rolünü vurgulayarak DEA'nın çoklu girdiler ve çıktılar üzerinden performansı ölçme kapasitesinin, limanlardaki gemi yanaşma-yük boşaltma işlemleri gibi maliyet ağırlıklı faaliyetlerde etkin kaynak kullanımının belirlenmesinde etkili olduğunu göstermişlerdir. Çalışmada 12 Şilili konteyner liman terminali örneklenmiş, DEA ile düşük performans gösteren limanlara ilişkin orta ve uzun vadeli iyileştirme önerileri sunulmuş ve ekonomik tasarruf potansiyelleri tahmin edilmiştir; bu çerçevede DEA modellerinin yalnızca lojistik operasyon verimliliğini ortaya koymakla kalmayıp, altyapı yatırımlarının önceliklendirilmesi ve politika-yönlendirmeli karar verme süreçlerine ekonomik etki perspektifi kazandırdığı ifade edilmiştir.

Bangarwa ve Roy (2023) çalışmasında, bankacılık sektöründe operasyonel performans değerlendirmesi için klasik statik DEA modellerinin ötesine geçen dinamik Veri Zarflama Analizi (DEA) yaklaşımı geliştirilmiştir; bu çalışmada özellikle bankaların ardışık dönem performansları arasındaki etkileşimler dikkate alınarak geleneksel DEA ile karşılaştırmalı analiz yapılmış, dinamik DEA'nın zaman serisi unsurlarını ve bağlantılı süreçleri hesaba kattığı, bu sayede performans ölçümünün daha kapsamlı ve gerçekçi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Çalışma, Hint bankacılık veri setini kullanarak teknik etkinlik, maliyet etkinliği ve Malmquist verimlilik endeksi gibi değişkenleri birlikte değerlendirmiş; elde edilen bulgulara göre dinamik modelin, statik DEA'ya kıyasla bankaların operasyonel verimliliklerinin daha doğru bir şekilde ortaya konmasına yardımcı olduğu ve geleneksel performans ölçüm araçlarının yetersiz kaldığı durumlarda dinamik DEA'nın karar vericiler için daha iyi içgörüler sağladığı ifade edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, DEA literatüründe dinamik yönlerin dikkate alınmasının bankacılık performans analizlerine metodolojik bir derinlik kazandırabileceğini göstermektedir.

Lee vd. (2023), Malezya'da işlem gören lojistik şirketlerinin operasyonel verimliliğini Veri Zarflama Analizi (DEA) kullanarak değerlendirmiş; bu çalışmada DEA modeli, girdi olarak finansal oranlar (örneğin cari oran, borç/varlık ve borç/özsermaye oranları ile sermaye maliyeti) ve çıktı olarak işletme performans göstergeleri (EPS, ROA, ROE) gibi çoklu değişkenleri birlikte ele alarak lojistik şirketlerinin göreceli etkinlik skorlarını belirlemiştir. Analiz sonucunda, kaynaklarını en verimli kullanan şirketler etkinlik ön cephesinde yer alırken, diğer şirketler için iyileştirme hedefleri DEA'nın referans birimlerinden elde edilen optimum değerler aracılığıyla tespit edilmiştir ve bu yönüyle DEA'nın benchmarking işlevi hem düşük performanslı şirketlerin gelişim alanlarını belirlemekte hem de karar vericilere stratejik yönlendirme sunmaktadır. Çalışma ayrıca lojistik sektöründe operasyonel risk faktörünün modellenmesinin verimlilik değerlendirmelerinde önemli olduğunu vurgulayarak DEA'nın operasyonel risk faktörünü dikkate alan DEA modelleriyle performans optimizasyonu için de uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bu çerçevede söz konusu analiz, DEA'nın çok kriterli verimlilik değerlendirmelerinde hem finansal hem de operasyonel risk perspektifini birleştiren pratik bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

de Oliveira vd. (2024), 23 Brezilya uluslararası havaalanının operasyonel verimliliğini Veri Zarflama Analizi (DEA) çerçevesinde değerlendiren entegre bir analiz modeli geliştirmiş; bu modelde DEA, pencere analiz (Window Analysis) ve Malmquist Endeksi birlikte kullanılarak havaalanlarının

zamana bağlı performans değişimleri ölçülmüş ve COVID-19 pandemisinin verimlilik üzerinde belirgin bir düşüş etkisi yarattığı saptanmıştır. Analizler, özel sektör tarafından işletilen havaalanlarının kamu işletmelerine göre biraz daha yüksek etkinlik skorlarına sahip olduğunu göstermiş olmakla birlikte bu farkın açıkça tanımlanmasının güç olduğunu ortaya koymuştur; çalışmada DEA'nın çoklu girdi-çıkıtı ilişkilerini zaman serisi perspektifiyle birleştirerek operasyonel zayıflıkları ve iyileştirme alanlarını stratejik düzeyde belirlemede etkili bir araç olduğu vurgulanmıştır. Bu yönüyle çalışma, DEA'nın klasik statik performans ölçümlerinin ötesine geçerek zamanla değişen etkinlik dinamiklerini ve pandeminin sektörel etkilerini değerlendirmede kullanılabileceğini göstermektedir.

Fotova Čiković vd. (2024) çalışmasında, Kuzey Makedonya sigorta piyasasında faaliyet gösteren sigorta şirketlerinin görel verimlilik düzeyleri Veri Zarflama Analizi'nin (DEA) girdiler (sermaye ve iş gücü) ile çıktılar (risk havuzlama/hisleri ve ara fonksiyonlar) üzerinden değerlendirilmiştir; bulgular, sektörün verimlilik düzeyinin 2018'de %83,62 ile en yüksek seviyeye ulaştığını, 2020'de ise %73,81'e düştüğünü ortaya koymakta ve bu dalgalanmanın COVID-19 sonrası performans değişimlerine işaret ettiğini göstermektedir. Ayrıca, hayat sigortası şirketlerinin ortalama görel verimlilik skorunun 0,9011 ile hayat dışı sigortacıardan (0,8067) daha yüksek olduğu saptanmış, bu da farklı sigortacılık segmentlerinin kaynak kullanım etkinliklerinde heterojenlik olduğunu göstermektedir. Çalışma, DEA'nın yalnızca teknik etkinliği ölçmekle kalmayıp sigorta sektöründeki performans dinamiklerini ve sürdürülebilirlik ile finansal istikrar arasındaki ilişkiyi analiz etmek için uygulanabilirliğini vurgulayarak özellikle gelişmekte olan piyasalarda sektörel verimlilik değerlendirmelerine katkı sağladığını belirtmektedir.

Kim vd. (2024) DEA (Veri Zarflama Analizi) yöntemini NBA takımlarının operasyonel verimliliğini ve bu verimliliğin franchise değerine etkisini ölçmek üzere uygulamışlardır; çalışma, toplam 30 NBA takımı için girdi olarak insan kaynakları ve bütçe gibi kaynak verilerini, çıktı olarak ise toplam gelir, bilet geliri ve işletme gelirini kapsayan çoklu performans göstergelerini kullanarak takımların etkinlik skorlarını tahmin etmiş ve yalnızca 180 birimden 29'unun yüksek etkinlik seviyesine ulaştığını göstermiştir. Ayrıca DEA ile hesaplanan operasyonel verimlilik skoru ile takımların Forbes tarafından yıllık olarak değerlendirilen franchise değer artışı arasındaki ilişki regresyon analizleriyle test edilmiş ve verimlilik skorunun, insan kaynakları ve bütçe gibi kontrol değişkenleri dikkate alınırken bile organizasyonel değer artışını anlamlı şekilde artırdığı sonucuna ulaşılmıştır; bu bulgu, spor takımlarında operasyonel etkinliğin yalnızca oyun performansını değil finansal ve stratejik değer üretimini de etkileyen önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Nguyen ve Lam (2025), 2016–2021 döneminde Vietnam'daki 30 sigorta şirketinin Veri Zarflama Analizi (DEA) ile etkinlik skorlarını hesaplamış ve ikinci aşamada truncated regresyon kullanarak finansal değişkenlerin bu etkinlik üzerindeki etkilerini incelemiştir; çalışmada CCR ve BCC DEA modelleriyle elde edilen skorlar genel olarak yüksek bulunmuş olmakla birlikte zaman içinde verimlilik ortalamasının azaldığı belirlenmiş, değişken getiriler durumunda kaldıraç (leverage), brüt prim primi büyümesi, firma yaşı ve hayat sigortası tipi gibi faktörlerin etkinliği pozitif yönde etkilediği, ancak firma büyüklüğünün BCC modelinde negatif bir ilişki gösterdiği ortaya konmuştur, bu da ölçek ekonomilerinin gelişmekte olan sigorta pazarında her zaman verimlilik avantajı sağlamadığını göstermektedir; yazarlar ayrıca bu bulguların yöneticilere ve politika yapıcılara, kaynak optimizasyonu ve düzenleyici çerçeve oluşturma açısından değerli içgörüler sunduğunu vurgulamıştır.

Hu (2025) çalışmasında, veri zarflama analizinin (VZA) performans ölçümündeki rolü inşaat sektöründe kapsamlı bir sistematik derleme çalışması olarak ele alınmıştır. Makale, DEA yönteminin performans göstergeleri, girdi-çıkıtı bileşenleri, uygulama alanları ve metodolojik çerçevesini 1980–2022 dönemindeki 192 akademik yayını sistematik tarama, doğrulama ve içerik analizi ile incelemiştir. Çalışma bulgularına göre DEA uygulamaları yıllar içinde önemli ölçüde artmış; özellikle

sürdürülebilirlik ve performans ölçümü gibi konular DEA çalışmalarının yoğunlaştığı alanlar olarak ortaya çıkmıştır. İncelenen makaleler arasında farklı performans göstergeleri sınıflandırılmış ve yaklaşık 74 temel performans ölçütü inşaat şirketleri, proje bazında ve sektör düzeyinde tanımlanmıştır. Ayrıca anahtar kelime analizine göre DEA çalışmalarının beş farklı kümesi belirlenmiş ve metodolojik eğilimlerin sürdürülebilir performans, çıktı odaklı modeller ve teknolojik değişim temaları etrafında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışma, DEA modellerinin performans ölçüm döngüsü ve ilerletilmiş analizler için kapsamlı bir metodoloji çerçevesi sunduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda DEA'nın farklı sektörlerdeki etkinlik ölçümlerine ilişkin metodolojik referans çerçevesi oluşturulmuştur.

Hanoum vd. (2026), enerji üretim sektöründe enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde Veri Zarflama Analizi (DEA) uygulamalarını bibliyometrik ve içerik analizi yöntemleriyle kapsamlı biçimde inceleyerek bu alandaki metodolojik eğilimleri ortaya koymuştur. Yazarlar, DEA'nın enerji üretim süreçlerinde çoklu girdi ve çıktıları aynı anda değerlendirebilme kapasitesi sayesinde teknik verimlilik, çevresel performans ve sürdürülebilirlik göstergelerini bütüncül biçimde analiz etmede etkili bir araç olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmada özellikle Network DEA, Fuzzy DEA ve hibrit modeller gibi gelişmiş DEA yaklaşımlarının, geleneksel statik modellere kıyasla daha ayrıntılı ve gerçekçi performans ölçümleri sunduğu belirtilmektedir. Ayrıca literatürde Çin ve ABD merkezli araştırmaların yoğunlukta olduğu, karbon emisyonu, yenilenebilir enerji kullanımı ve çevresel düzenlemeler gibi politika temelli değişkenlerin DEA modellerine entegre edildiği ifade edilmektedir. Bu yönüyle çalışma, DEA'nın enerji verimliliği analizini yalnızca teknik etkinlik boyutunda değil, çevresel sürdürülebilirlik ve politika değerlendirmesi çerçevesinde de ele alınması gereken çok boyutlu bir performans ölçüm aracı olarak konumlandırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

## YÖNTEM

Bu çalışmada, BIST Maden sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin finansal kaynaklarını ne ölçüde çıktıya dönüştürebildikleri çıktı odaklı VZA yaklaşımı ile analiz edilmektedir. Araştırma kapsamındaki şirketlerin 2014-2023 yılları arasındaki çıktı odaklı etkinlikleri, VZA ile değişken ölçekte (BCC modeli) DEAP 2.1 programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Girdi ve çıktı için model seçimi, karar vericinin girdi ve çıktı üzerindeki kontrolüne bağlıdır. Yani karar verici girdi üzerinde kontrole sahipse girdi odaklı modeller, karar verici çıktı üzerinde kontrole sahipse çıktı odaklı modeller tercih edilir. Bu çalışmada çıktı odaklı model tercih edilmesinin temel nedeni, madencilik sektöründe kısa vadede girdi düzeylerinin (özellikle sabit varlıklar ve sermaye yapısı) kolaylıkla değiştirilememesi, buna karşılık mevcut kaynaklarla üretim ve kârlılık performansının artırılabilir olmasıdır. Borsa İstanbul'da işlem gören ve Maden sektöründe faaliyet gösteren beş adet şirket analiz kapsamına alınmıştır. Örneklem seçiminde aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Analiz döneminde kesintisiz finansal veri bulunması
- Bilanço ve gelir tablosu kalemlerinin karşılaştırılabilir olması
- Aşırı uç değer oluşturan gözlemlerin kontrol edilmesi

Çalışmada kullanılan veriler şirketlerin kamuya açık finansal tablolarından elde edilmiştir. Analiz dönemi 2014-2023 yıllarını kapsamaktadır. Bu dönem seçimi, hem sektördeki konjonktürel dalgalanmaları (emtia fiyat şokları, pandemi dönemi etkileri vb.) içermesi hem de yeterli zaman boyutu sağlaması açısından tercih edilmiştir. Araştırma kapsamında yer alan işletmeler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1**  
*BIST Maden Sektöründe Yer Alan Şirketler ve Kodları*

Sıra	Kod	Şirket Adı
M1	ALMAD	Altınyag Madencilik ve Enerji Yatırımları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
M2	IPEKE	İpek Doğal Enerji Kaynakları Araştırma ve Üretim A.Ş.
M3	PRKME	Park Elektrik Üretim Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
M4	KOZAA	Koza Anadolu Metal Madencilik İşletmeleri A.Ş.
M5	KOZAL	Koza Altın İşletmeleri A.Ş.

Analizde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2**  
*Çalışmada Kullanılan Değişkenler*

Değişken Türü	Değişken Adı	Açıklama
Girdi	Toplam Aktifler	Sermaye yapısını ve üretim kapasitesini temsil eder
Girdi	Satışların Maliyeti (-)	Kaynak kullanım maliyetini gösterir
Girdi	Faaliyet Giderleri (-)	Yönetim ve operasyonel yükü temsil eder
Çıktı	Satış Gelirleri	Üretim ve pazar başarısını gösterir
Çıktı	Net Esas Faaliyet Karı/Zararı	Operasyonel etkinliği gösterir

Tablo 2’de girdi değişkenleri olarak işletmelerin üretim kapasitesini ve operasyonel maliyet yapısını temsil eden Toplam Aktifler, Satışların Maliyeti ve Faaliyet Giderleri kullanılmıştır. Çıktı değişkenleri ise gelir üretme kapasitesi ve operasyonel kârlılığı temsil eden Satış Gelirleri ile Net Esas Faaliyet Kârı/Zararı olarak belirlenmiştir. Böylece finansal kaynakların gelir ve faaliyet kârlılığına dönüşüm etkinliğini ölçmek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri, daha önce finansal etkinlik analizlerinde kullanılan değişken setlerinden yararlanılarak belirlenmiştir (Kumar & Gulati, 2008; Hosseinzadeh vd., 2016; Lee vd., 2023).

Veri Zarflama Analizi uygulamalarında karar verme birimi (KVB) sayısı ile girdi ve çıktı değişkenlerinin sayısı arasında belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Literatürde yaygın olarak kabul edilen kurallara göre; KVB sayısının, toplam girdi ve çıktı sayısından en az bir fazla olması ve mümkünse bu toplamın en az iki katı olması önerilmektedir (Yılmaz & Yakut, 2023). Bu çalışmada 5 adet KVB, 3 girdi ve 2 çıktı değişkeni kullanılmıştır. Buna göre toplam değişken sayısı 5 olup, KVB sayısı bu değere eşittir ve minimum koşulu sağlamaktadır. Bununla birlikte KVB sayısının iki katı koşulu tam olarak sağlanmasa da, küçük örneklemlerle DEA çalışmalarında bu durum literatürde kabul edilebilir bir sınırlılık olarak değerlendirilmektedir.

VZA’nın klasik formülasyonu doğrusal programlama yapısı gereği pozitif veri varsayımına dayandığından, negatif değer içeren net esas faaliyet kârı değişkenine, veri setindeki minimum değer mutlak değeri ve çok küçük bir pozitif sabit eklenerek doğrusal bir kaydırma işlemi uygulanmıştır. Bu dönüşüm yalnızca ölçek düzeyini değiştirmekte olup KVB’ler arasındaki göreceli etkinlik sıralamasını etkilememektedir. Bu tür doğrusal kaydırma dönüşümleri, negatif değer içeren çıktı değişkenlerinin DEA çerçevesinde kullanılmasına imkân tanıyan standart bir ön işleme yaklaşımıdır. Bu çalışmada kullanılan CCR ve BCC modelleri sırasıyla Charnes vd. (1978) ve Banker vd. (1984) çalışmalarına dayanmaktadır.

## BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde VZA yaklaşımının uygulanması sonucu elde edilen bulgular sunulmuştur. Maden şirketlerinin 2014-2023 dönemine ilişkin etkinlik değerleri BCC ve CCR modellerine göre ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 3**

*Şirketlerin VZA Yöntemine Göre Etkinlik Değerleri (BCC Modeli)*

Tarih	ALMAD	IPEKE	PRKME	KOZAA	KOZAL	Etkin Olan	Etkin Olmayan
2014	100	100	83,23	98,25	100	3	2
2015	100	100	89	100	100	4	1
2016	100	100	75,14	100	100	4	1
2017	100	100	100	100	100	5	0
2018	100	100	100	100	100	5	0
2019	100	100	100	100	100	5	0
2020	100	100	100	100	100	5	0
2021	100	100	100	99,92	100	4	1
2022	100	100	100	99,98	100	4	1
2023	100	100	100	100	100	5	0

Tablo 3'te yer alan analiz sonuçlarına göre ALMAD, IPEKE ve KOZAL firmaları incelenen dönemin tamamında %100 etkinlik skoruna sahiptir. Bu bulgu, söz konusu firmaların Toplam Aktifler, Satışların Maliyeti ve Faaliyet Giderleri gibi girdileri, Satış Gelirleri ve Net Esas Faaliyet Kârı çıktılarıyla etkin biçimde dönüştürdüğünü göstermektedir. BCC modelinin değişken getiri varsayımı altında bu firmalar saf teknik etkinlik açısından referans kümesini oluşturmaktadır. Dolayısıyla etkin olmayan firmalar için bu şirketler referans kümesini oluşturmaktadır. Sürekli etkinlik, yönetsel kapasitenin ve operasyonel kontrol mekanizmalarının istikrarlı biçimde sürdürüldüğüne işaret etmektedir. PRKME firması 2014–2016 döneminde sırasıyla %83,23, %89,00 ve %75,14 etkinlik skorları ile etkin sınırın altında kalmıştır. Özellikle 2016 yılındaki düşük skor, girdi fazlalığı veya çıktı yetersizliği sorununa işaret etmektedir. Ancak 2017 yılından itibaren firmanın etkin sınıra ulaşması, operasyonel iyileşme sürecinin başladığını göstermektedir. Benzer şekilde KOZAA firması bazı yıllarda %100'e çok yakın skorlar elde etmiş olsa da teknik olarak tam etkinlik düzeyine ulaşamamıştır. Bu durum, marjinal düzeyde girdi optimizasyonu ihtiyacına işaret etmektedir. Ancak genel olarak her iki firma da sektör ortalamasına kıyasla yüksek teknik etkinlik düzeyine sahiptir. Dönemsel olarak incelendiğinde 2014–2016 yıllarında etkinlik düzeyinin görece daha düşük olduğu, 2017 sonrası dönemde ise sektör genelinde teknik etkinliğin yükseldiği görülmektedir. Bu eğilim, firmaların zaman içerisinde maliyet yapısını daha etkin yönettiğini ve faaliyet kârlılığını artırdığını göstermektedir. Özellikle 2018 sonrası dönemde satış gelirleri ve faaliyet kârlarındaki artışlar, etkinlik skorlarının yükselmesini destekleyen temel faktörler olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla sektör genelinde bir yapısal iyileşme ve operasyonel optimizasyon süreci yaşandığı söylenebilir.

Bu analiz BCC modeli kapsamında gerçekleştirildiğinden, elde edilen sonuçlar firmaların saf teknik etkinliğini ölçmektedir. Başka bir ifadeyle, firmaların mevcut ölçekleri altında kaynaklarını ne derece etkin kullandıkları değerlendirilmiştir. Ancak bu model ölçek etkinliğini doğrudan ölçmemektedir. Dolayısıyla firmaların teknik olarak etkin olmaları, mutlaka ölçek açısından da optimal

büyükükte faaliyet gösterdikleri anlamına gelmemektedir. Bu nedenle çalışmanın bir sonraki aşamasında CCR modeli ile karşılaştırma yapılarak ölçek etkinliği analizinin gerçekleştirilmesi, daha kapsamlı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. CCR modeline ilişkin sonuçlar ise Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4**  
*Şirketlerin VZA Yöntemine Göre Etkinlik Değerleri (CCR Modeli)*

Tarih	ALMAD	IPEKE	PRKME	KOZAA	KOZAL	Etkin Olan	Etkin Olmayan
2014	100	83,18	72,49	82,84	100	2	3
2015	100	100	74,53	100	100	4	1
2016	100	87,28	53,64	87,88	100	2	3
2017	100	92,06	100	93,61	100	3	2
2018	100	94,87	86,27	95,28	100	2	3
2019	42,99	97,29	100	97,36	100	2	3
2020	92,98	100	51,6	100	100	3	2
2021	100	100	86,57	99,92	100	4	1
2022	100	97,92	100	97,94	100	3	2
2023	100	97,37	100	97,36	100	3	2

Tablo 4'teki CCR analizi sonuçlarına göre KOZAL firması incelenen 2014–2023 döneminin tamamında %100 etkinlik skoruna sahiptir. Bu bulgu, firmanın hem saf teknik etkinlik hem de ölçek etkinliği açısından optimal düzeyde faaliyet gösterdiğini ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, KOZAL yalnızca kaynaklarını etkin kullanmakla kalmayıp aynı zamanda faaliyet ölçeğini de uygun büyüklükte yönetmektedir. Bu durum, firmanın sektörde hem teknik hem yapısal açıdan referans konumunda olduğunu göstermektedir. ALMAD firması 2019 yılında %42,99 etkinlik skoruna gerileyerek ciddi bir ölçek etkinsizliği sergilemiştir. Benzer şekilde PRKME firması özellikle 2016 (%53,64) ve 2020 (%51,60) yıllarında düşük skorlar elde etmiştir. IPEKE ve KOZAA firmaları ise bazı yıllarda yüksek ancak tam etkin olmayan skorlar üretmiştir. Bu bulgular, söz konusu firmaların teknik olarak etkin sınırdaki yer alabilmelerine rağmen faaliyet hacimleri bakımından optimal ölçeğin altında ya da üstünde faaliyet gösterebildiklerini göstermektedir. Özellikle düşük skorlar, ölçek uyumsuzluğunun belirgin olduğu dönemlere işaret etmektedir. Dönemsel olarak incelendiğinde 2014–2016 yıllarında ölçek verimsizliğinin daha belirgin olduğu görülmektedir. 2017 sonrası dönemde ise genel bir iyileşme eğilimi gözlenmekle birlikte bazı firmalarda dalgalanmalar devam etmektedir. Bu eğilim, sektörün zaman içerisinde daha dengeli bir ölçek yapısına doğru evrildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, özellikle ekonomik dalgalanmaların yoğun olduğu yıllarda ölçek etkinliğinin daha kırılgan hale geldiği anlaşılmaktadır. BCC ve CCR modelleri arasında gözlenen etkinlik farkları, modellerin varsayımlarından kaynaklanmaktadır. BCC modeli yalnızca saf teknik etkinliği ölçerken, CCR modeli hem teknik hem de ölçek etkinliğini birlikte değerlendirmektedir. Bu nedenle CCR skorlarının BCC skorlarına göre daha düşük olması, firmalarda ölçek etkinsizliğinin varlığına işaret etmektedir.

CCR modeli sabit getiri varsayımı altında hem teknik hem de ölçek etkinliğini birlikte ölçmektedir. Bu nedenle CCR skorlarının BCC skorlarından düşük olması, ölçek etkinsizliğine işaret etmektedir. Analiz sonuçları, bazı firmaların teknik açıdan etkin olmalarına rağmen ölçek büyüklüğü bakımından optimal düzeyde faaliyet göstermediklerini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla BCC ve CCR sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi, firmaların performans yapısının daha bütüncül biçimde analiz edilmesine imkân sağlamaktadır.

## TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular, BIST’te işlem gören maden şirketlerinin finansal kaynaklarını çıktıya dönüştürme kapasitelerinin firma ve dönem bazında farklılaştığını göstermektedir. BCC modeli kapsamında bazı firmaların tüm dönem boyunca teknik olarak etkin bulunması, mevcut ölçekleri altında kaynaklarını etkin biçimde yönettiklerine işaret etmektedir. Bu sonuç, Veri Zarflama Analizi’nin (VZA) çoklu girdi ve çıktı yapıları altında görece performans ölçümünde güçlü bir araç olduğunu ortaya koyan klasik çalışmalarla uyumludur (Charnes vd., 1978; Banker vd., 1984). Ayrıca Emrouznejad ve Yang (2018) tarafından yapılan kapsamlı literatür incelemesinde de sermaye yoğun sektörlerde VZA’nın teknik etkinlik farklılıklarını ortaya koymada yaygın biçimde kullanıldığı vurgulanmaktadır.

CCR modeli sonuçlarında gözlenen ölçek etkinsizlikleri ise performans farklılıklarının yalnızca yönetsel etkinlikten değil, faaliyet ölçeğinin optimal düzeyde olmamasından da kaynaklanabileceğini göstermektedir. Bu bulgu, Kumar ve Gulati’nin (2008) bankacılık sektöründe teknik ve ölçek etkinliğini aydınlatan sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Benzer şekilde Hosseinzadeh vd. (2016), Avustralya madencilik şirketleri üzerinde yaptıkları çalışmada ölçek farklılıklarının etkinlik skorlarını anlamlı biçimde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda mevcut çalışma, ölçek uyumsuzluğunun yalnızca finans sektöründe değil, madencilik gibi sermaye yoğun üretim sektörlerinde de belirleyici olduğunu göstermektedir.

Türkiye bağlamında yapılan çalışmalar incelendiğinde, Öztürk (2016) ve Çelik ve Ayan (2017) gibi araştırmalarda da sektör bazlı DEA uygulamalarında firmalar arasında etkinlik farklılıkları tespit edilmiştir. Bu çalışmalarla uyumlu olarak mevcut araştırmada da firmalar arasında hem teknik hem de ölçek etkinliği bakımından farklılıklar olduğu görülmektedir. Ancak mevcut çalışma, doğrudan maden sektörüne odaklanması bakımından literatürde daha spesifik bir katkı sunmaktadır.

Elde edilen önemli bulgulardan biri, etkinsizliklerin ağırlıklı olarak aşırı girdi kullanımından ziyade satış geliri ve faaliyet kârlılığı üretme kapasitesindeki yetersizlikten kaynaklanmasıdır. Bu durum, varlık büyüklüğünün tek başına performans göstergesi olmadığını; asıl belirleyici unsurun mevcut finansal kapasitenin çıktıya dönüşüm etkinliği olduğunu göstermektedir. Sueyoshi ve Goto (2011) enerji sektöründe benzer biçimde çıktı artırma potansiyelinin teknik etkinlik üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Zhu vd. (2018) ise madencilik sektöründe teknik ilerlemenin ve çıktı performansının etkinlik artışında kritik rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, finansal yapı ile performans arasındaki ilişkinin doğrusal oran analizlerinden ziyade bütüncül etkinlik yaklaşımlarıyla daha sağlıklı değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, işletme performansının yalnızca finansal kaynakların etkin kullanımına bağlı olmadığını, aynı zamanda organizasyonel kapasite ve dönüşüm yetkinlikleri ile de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Nitekim farklı bir sektörde gerçekleştirilen bir çalışmada, Büyükipekçi ve Duman (2025), otomotiv sektöründe firmaların dijital olgunluk düzeylerinin performans üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda mevcut çalışma ile söz konusu araştırma birlikte değerlendirildiğinde, işletmelerin hem finansal kaynaklarını etkin kullanmaları hem de teknolojik ve dijital dönüşüm kapasitelerini geliştirmelerinin sürdürülebilir performans açısından kritik olduğu söylenebilir.

Dönemsel analizde 2017 sonrası teknik etkinlik düzeylerinde gözlenen iyileşme eğilimi, firmaların maliyet yapısını daha rasyonel yönettiklerine ve operasyonel optimizasyon süreçlerini güçlendirdiklerine işaret etmektedir. Bu bulgu, Bangarwa ve Roy’un (2023) dinamik VZA yaklaşımında zaman boyutunun performans farklılıklarını açıklamada önemli olduğunu ortaya koyan sonuçlarıyla tutarlıdır. Ayrıca Liu vd. (2016) tarafından Çin kömür madenciliği sektöründe yapılan analizde de dönemsel politika ve piyasa koşullarının etkinlik düzeylerini anlamlı biçimde etkilediği belirtilmiştir. Dolayısıyla madencilik sektöründe finansal etkinlik, yalnızca firma içi yönetsel kapasiteye değil, aynı zamanda makroekonomik ve sektörel koşullara da bağlıdır.

Son olarak, bu çalışma finansal dönüşüm etkinliğini çok girdili ve çok çıktılı bir çerçevede analiz ederek literatürdeki sektör bazlı DEA uygulamalarına katkı sunmaktadır. Hu (2025) tarafından yapılan sistematik derlemede DEA uygulamalarının giderek daha bütüncül performans ölçümlerine yöneldiği belirtilmektedir. Bu doğrultuda mevcut çalışma, finansal yapı ile operasyonel çıktı arasındaki ilişkiyi sektörel düzeyde inceleyerek gelişmekte olan piyasa bağlamında özgün ampirik kanıt üretmektedir. Bununla birlikte analiz yalnızca finansal göstergelerle sınırlı kalmıştır. Zhu vd. (2018) ve Liu vd. (2019) gibi çalışmalar çevresel ve sürdürülebilirlik çıktılarının da VZA modellerine dahil edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Dolayısıyla gelecekteki araştırmalarda çevresel performans göstergeleri ve ikinci aşama regresyon analizleri ile etkinlik belirleyicilerinin incelenmesi, literatüre metodolojik derinlik kazandıracaktır.

## **SONUÇ**

Bu çalışma, Borsa İstanbul'da işlem gören maden şirketlerinde finansal kaynakların operasyonel çıktılara dönüşüm etkinliğini Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemiyle incelemiştir. 2014–2023 dönemini kapsayan analiz sonuçları, sektör genelinde teknik etkinlik düzeylerinin zaman içerisinde artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle BCC modeli kapsamında bazı firmaların tüm dönem boyunca etkin sınır üzerinde yer alması, söz konusu firmaların mevcut ölçekleri altında finansal kaynaklarını etkin biçimde yönettiklerini göstermektedir. Buna karşılık bazı firmaların belirli yıllarda etkin sınırın altında kalması, finansal kapasite ile çıktı üretme performansı arasındaki uyumsuzluğa işaret etmektedir. CCR modeli sonuçları ise teknik etkinliğin yanı sıra ölçek etkinliği boyutunu da ortaya koymuş ve bazı firmalarda dönemsel ölçek etkinsizliklerinin bulunduğunu göstermiştir. Bu durum, performans farklılıklarının yalnızca yönetsel etkinlikten değil, aynı zamanda faaliyet ölçeğinin optimal düzeyde olmamasından da kaynaklanabileceğini göstermektedir. Bulgular, etkinsizliklerin ağırlıklı olarak aşırı girdi kullanımından ziyade satış geliri ve faaliyet kârlılığı üretme kapasitesindeki yetersizlikten kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Analiz sonuçlarına göre CCR modeline göre 2014–2023 döneminde KOZAL firması tüm yıllarda tam etkin bulunmuştur. BCC modeline göre ise ALMAD, IPEKE ve KOZAL firmalarının incelenen dönemin tamamında tam etkin olduğu tespit edilmiştir.

BCC modeli kapsamında gerçekleştirilen Veri Zarflama Analizi sonuçları, 2014–2023 döneminde firmaların genel olarak yüksek etkinlik düzeyine sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle 2017 sonrası dönemde tüm firmaların etkin sınır üzerinde yer alması, sektörde operasyonel verimlilik artışına işaret etmektedir. ALMAD, IPEKE ve KOZAL firmalarının tüm dönem boyunca etkin bulunması, bu firmaların referans kümesini oluşturduğunu göstermektedir. PRKME firmasının 2014–2016 döneminde etkin olmamasına karşın sonraki yıllarda etkin sınıra ulaşması ise operasyonel iyileşme sürecini işaret etmektedir. Genel olarak bulgular, sektörde girdi kullanımının zaman içerisinde daha rasyonel hale geldiğini ortaya koymaktadır.

CCR modeli kapsamında elde edilen bulgular, firmaların sabit getiri varsayımı altında toplam teknik etkinlik düzeylerini ortaya koymaktadır. BCC modeline kıyasla CCR sonuçlarının daha düşük değerler üretmesi, sektörde ölçek etkinliği farklılıklarının bulunduğunu göstermektedir. Özellikle 2014–2016 döneminde firmaların önemli bir kısmının etkin sınırın altında yer aldığı görülmektedir. 2017 sonrası dönemde etkinlik düzeylerinde artış gözlenmekle birlikte, bazı firmalarda dönemsel dalgalanmalar devam etmektedir. Bu durum, firmaların teknik olarak güçlü olmalarına rağmen ölçek büyüklüğü açısından her zaman optimal düzeyde faaliyet göstermediklerini göstermektedir.

Sonuç olarak, sermaye yoğun bir sektör olan madencilikte sürdürülebilir finansal performans yalnızca varlık büyüklüğüne veya maliyet kontrolüne değil, finansal kaynakların etkin biçimde çıktıya dönüştürülmesine bağlıdır. Çalışma, teknik ve ölçek etkinliğini birlikte ele alarak sektörel performans farklılıklarının yapısal boyutunu ortaya koymakta ve finansal etkinlik analizlerine ilişkin literatüre

ampirik katkı sunmaktadır.

## ÖNERİLER

Araştırma bulguları doğrultusunda hem yönetsel hem de politika düzeyinde çeşitli öneriler geliştirilebilir. Öncelikle, etkin sınırın altında kalan firmaların girdi azaltma stratejilerinden ziyade çıktı artırma kapasitesine odaklanmaları önerilmektedir. Özellikle satış geliri ve faaliyet kârlılığı üretme performansının güçlendirilmesi, teknik etkinliğin artırılmasında temel belirleyici unsur olarak görülmektedir. Bu bağlamda maliyet kontrolü kadar gelir çeşitlendirme, katma değerli üretim ve operasyonel verimlilik artırıcı uygulamalar önem kazanmaktadır. İkinci olarak, ölçek etkisizliği tespit edilen firmaların faaliyet hacimlerini gözden geçirmeleri gerekmektedir. Optimal ölçekten sapmalar, finansal kaynakların potansiyelini tam olarak yansıtamamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle kapasite planlaması, yatırım kararları ve finansman yapısı yeniden değerlendirilmelidir.

Yatırımcılar açısından ise DEA temelli etkinlik analizleri, firmaların görece performansını değerlendirmede tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabilir. Geleneksel finansal oran analizlerinin ötesine geçen bu yaklaşım, benchmarking ve portföy tercihlerinde daha bütüncül bir perspektif sunmaktadır. Gelecek araştırmalar için ise daha geniş örneklem, sektörler arası karşılaştırmalar, dinamik DEA modelleri ve çevresel/sürdürülebilirlik göstergelerinin modele dahil edilmesi önerilmektedir. Ayrıca ikinci aşama regresyon analizleri ile etkinlik skorlarını etkileyen belirleyici faktörlerin incelenmesi literatüre metodolojik derinlik kazandıracaktır. Ayrıca etkin olmayan firmaların, etkin bulunan işletmeleri referans alarak kaynak kullanım yapılarını ve operasyonel süreçlerini yeniden düzenlemeleri önerilmektedir. DEA yöntemi tarafından belirlenen referans kümeleri, iyileştirme stratejileri açısından önemli bir yol gösterici niteliği taşımaktadır.

### **Etik Beyan**

Bu çalışma için Etik Beyan bulunmamaktadır.

### **Etik Kurul Onayı**

Bu çalışma için Etik Kurul kararı gerekmemektedir.

### **Finansman**

Çalışma herhangi bir finansal destek almamıştır.

### **Çıkar Çatışması**

Yazarlar ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Teşekkür**

Yayın sürecinde katkısı olan hakemlere ve editör kuruluna teşekkür ederim.

## REFERANSLAR

- Agüero-Tobar, M. A., González-Araya, M. C., & González-Ramírez, R. G. (2023). Assessment of maritime operations efficiency and its economic impact based on data envelopment analysis: A case study of Chilean ports. *Research in Transportation Business and Management*, 46, Article 100821. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100821>
- Bangarwa, P., & Roy, S. (2023). Operational performance model for banks: a dynamic data envelopment approach. *Benchmarking: An International Journal*, 30(10), 3817–3836. <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2021-0498>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Büyükipekçi, S., & Duman, A. (2025). Determining digital maturity levels within the framework of Industry 4.0 in the automotive sector: Konya example. *Sosyoekonomi*, 33(64), 261–285. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2025.02.11>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software* (Vol. 2, p. 489). New York: Springer.
- Çelik, İ., & Ayan, S. (2017). Veri zarflama analizi ile imalat sanayi sektörünün finansal performans etkinliğinin ölçülmesi: Borsa İstanbul'da bir araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 8(18), 56–74. <https://doi.org/10.21076/vizyoner.285998>
- de Oliveira, M. S., Steffen, V., Krukoski, F. A., Mezoni, M. F., & Trojan, F. (2024). An integrated data envelopment analysis framework for operational efficiency assessment in Brazilian international airports. *Decision Analytics Journal*, 12, 100493. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100493>
- Dizkırıcı, A. S. (2014). Borsa İstanbul gıda, içecek endeksine kote işletmelerin finansal performanslarının veri zarflama analizi ile ölçümü ve Malmquist endeksine göre karşılaştırılması. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (63), 151–170. <https://doi.org/10.25095/mufad.396482>
- Emrouznejad, A., & Yang, G.-L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
- Fotova Čiković, K., Cvetkoska, V., & Mitreva, M. (2024). Investigating the efficiency of insurance companies in a developing country: A data envelopment analysis perspective. *Economies*, 12(6), 128. <https://doi.org/10.3390/economies12060128>
- Hanoum, S., Shubbak, M. H., Ardiantono, D. S., & Korpysa, J. (2026). Data envelopment analysis applications for energy efficiency in power generation: A comprehensive review with bibliometric and content analysis. *Energy, Climate and Management*, 26, 101590. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2026.101590>
- Hosseinzadeh, A., Smyth, R., Valadkhani, A., & Le, V. (2016). Analyzing the efficiency performance

- of major Australian mining companies using bootstrap data envelopment analysis. *Economic Modelling*, 57, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.04.008>
- Hu, X. (2025). Data envelopment analysis for performance measurement in the construction field: A systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 32(12), 8145–8170. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2023-0515>
- Kim, P., Lee, S. H., & Moon, J. (2024). Evaluating the operational efficiency of NBA teams on franchise value: An assessment of data envelopment analysis. *PLOS ONE*, 19(3), e0297797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297797>
- Kumar, S., & Gulati, R. (2008). An examination of technical, pure technical, and scale efficiencies in Indian public sector banks using data envelopment analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 1(2), 33–69.
- Lee, P. F., Lam, W. S., & Lam, W. H. (2023). Performance evaluation of the efficiency of logistics companies with data envelopment analysis model. *Mathematics*, 11(3), 718. <https://doi.org/10.3390/math11030718>
- Liu, J., Liu, H. F., Yao, X.-L., & Liu, Y. (2016). Evaluating the sustainability impact of consolidation policy in China's coal mining industry: Evidence from a DEA approach. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2969–2976. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.011>
- Liu, X., Guo, P., & Guo, S. (2019). Assessing the eco-efficiency of a circular economy system in China's coal mining areas: Energy and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 206, 1101–1109. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.218>
- Medeiros, G. O. S., Marangon-Lima, L. M., de Queiroz, A. R., Marangon-Lima, J. W., dos Santos, L. C. B., Barbosa, M. A., & Alvares, J. E. (2022). Efficiency analysis for performance evaluation of electric distribution companies. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 134, 107430. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107430>
- Nguyen, P. A., & Lam, H. P. A. (2025). Evaluating the efficiency of insurance companies in Vietnam using data envelopment analysis and truncated regression. *Cogent Economics & Finance*, 13(1), 2494134. <https://doi.org/10.1080/23322039.2025.2494134>
- Orçun, Ç., Çimen, A., & Şahin, A. (2014). Şirket etkinlikleri: İMKB 100 imalat sanayi şirketleri uygulaması. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (39), 21–34.
- Öztürk, E. (2016). Maliyet performansının ölçümü için göreceli etkinlik analizi: BİST çimento sektöründe veri zarflama analizi uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.18074/cnuiibf.249>
- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2011). Measurement of returns to scale and damages to scale for DEA-based operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) and undesirable (bad) outputs? *European Journal of Operational Research*, 211(1), 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.013>
- Wang, Z., Liu, Q., & Zhang, B. (2022). What kinds of building energy-saving retrofit projects should be preferred? Efficiency evaluation with three-stage data envelopment analysis (DEA). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112392>
- Yang, J., & Chen, B. (2021). Energy efficiency evaluation of wastewater treatment plants (WWTPs) based on data envelopment analysis. *Applied Energy*, 289, 116680.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116680>

Yılmaz, H., & Yakut, E. (2023). BIST Gıda, içecek ve tütün sektörü işletmelerinin finansal etkinliklerinin VZA ve Bulanık VZA ile incelenmesi. *Trends in Business and Economics*, 37(1), 35-45.

Zhu, X., Chen, Y., & Feng, C. (2018). Green total factor productivity of China's mining and quarrying industry: A global data envelopment analysis. *Resources Policy*, 57, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.12.009>

## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** Capital-intensive industries require an efficient transformation of financial resources into operational outputs to sustain competitiveness and long-term performance. The mining sector, characterized by high fixed costs, substantial asset investments, and exposure to commodity price volatility, presents a particularly relevant context for efficiency analysis. Traditional financial ratio analyses often fail to capture the multidimensional relationship between financial structure and output generation. In this regard, Data Envelopment Analysis (DEA) provides a robust non-parametric framework for evaluating relative efficiency under multiple input–output structures (Charnes et al., 1978; Banker et al., 1984). Although DEA has been widely applied in banking, energy, and manufacturing sectors, sector-specific evidence on financial resource transformation efficiency in emerging mining markets remains limited. This study aims to fill this gap by examining the efficiency of Borsa Istanbul (BIST) mining firms in transforming financial inputs into revenue and operating profitability over the 2014–2023 period.

From the perspective of the mining industry, efficiency analysis is also crucial for risk management and financial sustainability. The sector’s exposure to global commodity price volatility, exchange rate risk, and fluctuations in financing costs continuously tests the financial resilience of firms operating in this industry. Inefficient firms generate lower levels of output compared to efficient firms operating with similar input levels, indicating potential resource misallocation. This situation may signal financial risk for investors while also pointing to the need for organizational restructuring from a managerial perspective.

This study makes three main contributions to the literature. First, it provides original empirical evidence at the sectoral level by analyzing the efficiency of transforming financial resources into outputs in BIST mining firms within a multi-input and multi-output framework. Second, it goes beyond evaluations based solely on profitability ratios by examining the relationship between financial structure and performance from an efficiency perspective. Third, by applying both the CCR and BCC models, the study investigates the dimension of scale efficiency and reveals structural differences between large- and small-scale firms.

**Literature Review:** Performance measurement and efficiency analysis have gained increasing importance in the literature, particularly for firms operating in capital-intensive industries. The one-dimensional structure of traditional financial ratio analysis may be insufficient to explain complex production processes involving multiple input–output relationships. For this reason, non-parametric methods that allow the measurement of relative efficiency have been increasingly employed in recent years, with Data Envelopment Analysis (DEA) being one of the most widely used approaches in performance evaluation studies. The DEA method has found extensive application in measuring firm efficiency across various sectors such as banking, energy, manufacturing, and transportation, and has become an important analytical tool for examining the capacity of financial inputs to be transformed into outputs. However, studies that comprehensively address the efficiency of transforming financial resources into sales revenue and operating profitability remain relatively limited in sectors characterized by high asset intensity, such as the mining industry. In particular, empirical efficiency analyses conducted at the sectoral level within the context of emerging markets point to a notable research gap in the existing literature.

**Method:** The study analyzes five mining companies listed on BIST using an output-oriented DEA framework. Total Assets, Cost of Sales, and Operating Expenses are defined as input variables, representing financial capacity and operational cost structure. Sales Revenue and Net Operating Profit/Loss are employed as output variables to reflect firms’ revenue generation and operational performance. Both the CCR (constant returns to scale) and BCC (variable returns to scale) models are implemented to distinguish between overall technical efficiency and pure technical efficiency. The output-oriented specification is preferred because input levels, particularly fixed assets and capital structure, are relatively rigid in the short term, whereas firms have greater discretion over output expansion. Efficiency scores are computed for the 2014–2023 period using DEAP 2.1 software.

**Findings:** The empirical findings reveal significant efficiency differences across firms and years. Under the BCC model, several firms consistently operate on the efficiency frontier, indicating strong managerial performance in utilizing existing financial resources. However, certain firms fall below the frontier in specific years due primarily to insufficient revenue and operating profit generation rather than excessive input usage. CCR results further indicate the presence of scale inefficiencies in selected periods, suggesting that deviations from

optimal operational scale contribute to performance gaps. Notably, an overall improvement in technical efficiency is observed after 2017, reflecting enhanced operational optimization and financial management practices within the sector.

**Discussion:** The findings support the argument that financial size alone does not guarantee superior performance; rather, the effectiveness of transforming financial capacity into output determines relative efficiency. The observed scale inefficiencies align with prior DEA studies emphasizing the importance of distinguishing technical and scale effects (Kumar & Gulati, 2008; Hosseinzadeh et al., 2016). Moreover, the dominance of output shortfalls as the primary source of inefficiency parallels evidence from energy and resource-based sectors, where revenue maximization capacity plays a critical role in overall efficiency (Sueyoshi & Goto, 2011). These results suggest that mining firms' performance depends not only on cost control but also on strategic revenue generation and capacity utilization decisions.

**Conclusion:** This study demonstrates that efficiency differences in BIST mining firms are driven mainly by output generation capacity and scale structure rather than input overutilization. By applying a multi-input, multi-output DEA framework, the research provides sector-specific empirical evidence from an emerging market context. The joint use of CCR and BCC models allows a comprehensive evaluation of managerial and structural efficiency components, contributing to the literature on financial efficiency measurement in capital-intensive industries. In conclusion, sustainable financial performance in the mining industry—an inherently capital-intensive sector—depends not only on asset size or cost control but also on the effective transformation of financial resources into outputs. By jointly examining technical and scale efficiency, this study reveals the structural dimensions underlying sectoral performance differences and provides an empirical contribution to the literature on financial efficiency analysis.

**Recommendation:** Managers should prioritize output-enhancing strategies—such as improving operational productivity, diversifying revenue streams, and optimizing capacity utilization—rather than focusing solely on cost reductions. Firms experiencing scale inefficiencies should reassess investment size, production capacity, and financing structures to align operations with optimal scale conditions. For investors, DEA-based efficiency scores may serve as a complementary benchmarking tool alongside traditional financial ratios. Future research may extend the model by incorporating environmental and sustainability indicators, dynamic DEA approaches, or second-stage regression analyses to identify determinants of efficiency in mining and other resource-based industries.