

Araştırma Makalesi

Operasyonel ve Çevresel Etkinliğin Değerlendirilmesinde Veri Zarflama Analizi (VZA): İlaç Sektörü

Data Envelopment Analysis (DEA) in Evaluating Operational and Environmental Efficiency: Pharmaceutical Industry

Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ

Dr.Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

esra.yildirim@dpu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-4690-9298>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
23.02.2025	04.04.2025

Öz

Bu çalışmada ekonomik ve toplumsal açıdan hayati öneme sahip ve fakat çevre üzerindeki olumsuz etkileri de bilinen ilaç sektöründe operasyonel ve çevresel etkinliğin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yerel ve uluslararası ilaç şirketlerinin sürdürülebilirlik ve faaliyet raporlarından, belge tarama yoluyla elde edilen operasyonel ve çevresel performans göstergeleri Veri Zarflama Analizi (VZA) 'nin ölçeğe göre değişken getiri (VRS) modeli ile analiz edilmiştir. VZA 'nde istenmeyen girdi ve çıktı değişkenleri için çarpımsal ters dönüşüm yaklaşımı kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre şirketlerin operasyonel ve çevresel etkinlik sıralamaları farklılık göstermektedir. Operasyonel performans açısından etkin olan Abbvie, Johnson&Johnson ve Merck & Co. şirketleri oldukça düşük çevresel etkinlik düzeyine sahipken; Biogen ve Regeneron Pharm. şirketlerinin de çevresel etkinlik sıralaması operasyonel etkinlik sıralamasına göre daha yüksektir. Çalışma, Türkiye'nin ilaç üreticilerinin de dahil edildiği yerel ve küresel şirketlerden oluşan örneklem açısından literatürdeki boşluğu doldurmanın yanında elde edilen sonuçların sektöre vereceği mesajlar bakımından önem taşınmaktadır. Operasyonel ve çevresel etkinliğin birlikte dikkate alınması, sektörel problemlerden ortalama stok maliyetlerinin operasyonel performans göstergelerine dahil edilmesi çalışmanın özgünlüğünü artırmaktadır.

Anahtar kelimeler: İlaç Sektörü, Operasyonel Performans, Çevresel Performans, Etkinlik, Veri Zarflama Analizi (VZA).

Abstract

This study aims to evaluate operational and environmental efficiency in the pharmaceutical sector, which is crucial in economic and social terms but also has known negative effects on the environment. Operational and environmental performance indicators obtained from the sustainability and activity reports of local and international pharmaceutical companies through document scanning were analyzed with the variable returns to scale (VRS) model of Data Envelopment Analysis (DEA). A multiplicative inverse transformation approach was used for undesirable input and output variables in DEA. According to the findings, the operational and environmental efficiency rankings of the companies differ. While Abbvie, Johnson&Johnson and Merck & Co. companies, which are effective in terms of operational performance, have a very low environmental efficiency level; Biogen and Regeneron Pharm. companies also have a higher environmental efficiency ranking compared to their operational efficiency ranking. In addition to filling the gap in the literature in terms of the sample consisting of local and global companies, including Türkiye's pharmaceutical manufacturers, the study is important in terms of the messages the obtained results will give to the sector. Considering operational and environmental efficiency together and including average stock costs, which are among the sectoral problems, in the operational performance indicators increases the originality of the study.

Önerilen Atıf /Suggested Citation

Yıldırım Söylemez, E., 2025, Operasyonel ve Çevresel Etkinliğin Değerlendirilmesinde Veri Zarflama Analizi (VZA): İlaç Sektörü, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(2), 1311-1331.

Keywords: *Pharmaceutical Industry, Operational Performance, Environmental Performance, Efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA).*

Giriş

Teknoloji alanındaki gelişmelerle paralel bir şekilde hızlanan küreselleşmenin, daha yoğun bir ulusal ve küresel rekabet baskısı altında bıraktığı işletmelerde performansın yönetimi ve izlenmesi önemli ve öncelikli süreçlerdendir. Paydaşların sürekli ve hızlı değişen taleplerine uyum sağlanması, kaynakların verimli kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi ile eş zamanlı olarak kaliteden taviz verilmeden esnekliğin sağlanması ve faaliyetlerde çevre duyarlılığının dikkate alınması günümüz işletme performansının yapıtaşlarıdır. Nitekim pek çok faktörün dikkate alınmasını gerektiren; finansal, operasyonel, teknolojik ve ekolojik etkinlik gibi çok yönlü ve karmaşık yapıya sahip işletme performansına ilişkin araştırmalar son yıllarda hem akademi hem de sanayide büyük ilgi görmektedir.

İşletmelerde performansın değerlendirilmesi ve yönetilmesi, amaçlı ve planlanmış bir etkinliğin sonucunu ve/veya hedeflere ulaşma derecesini nicel veya nitel olarak belirlemeyi sağlarken (Kecek, 2010) tüm operasyonların mükemmel bir şekilde yönetilmesi ve rekabet avantajının elde edilmesini amaçlamaktadır (Wang vd., 2022). İşletme performansının en önemli boyutlarından birinin etkinlik olduğunu savunan Drucker (1963), bir işletmenin rekabet avantajını ortaya koyabilecek güvenilir performans ölçümünde, etkinlik değerlendirilmesinin gerektiğini çünkü etkinlikteki nispeten küçük bir iyileşmenin ekonomik etkililikte büyük bir artışa yol açacağını belirtmektedir. Nitekim etkinlik; rekabet edebilirliğin, sürekliliğin ve dayanıklılığın anahtarı olarak tanımlanmaktadır (Kourtis vd., 2022). Etkinliğin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan en güçlü yöntemlerden biri Veri Zarflama Analizidir (VZA) (Rosenmayer, 2014). VZA, ürettikleri ürün veya hizmet açısından homojen olan ve karar verme birimleri olarak adlandırılan birimlerin veya kuruluşların göreceli etkinliğinin ölçülmesi için geliştirilmiş doğrusal programlama temelli bir tekniktir (Kecek, 2010; Haynes ve Dinc, 2005). Çok sayıda girdi ve çıktının ağırlıklı bir girdi ve çıktı setine dönüştürülmesinin güç olduğu durumlarda anlamlı ve geçerli sonuçlar veren VZA, etkinlik ölçümü problemleriyle karşılaşılacak pek çok sektörde ilgi görmüştür (Lewis ve Sexton, 2004). Bu çalışmada ilaç sektöründe faaliyet gösteren yerel ve küresel şirketlerin etkinliklerinin belirlenmesinde VZA’ndan faydalanılmıştır. Endüstriyel faaliyetler açısından öneminin yanında toplumsal açıdan hayati öneme sahip ilaç sektöründe üretim maliyetlerinin düşürülmesi, esnekliğin sağlanması, güvenli üretim ve kalite standartlarına uyum gibi operasyonel ve ekonomik sorunlarla karşılaşmaktadır (Eskandari vd., 2022). Dinamik bir yapıya sahip sektörün karşı karşıya kaldığı ve hatta kanıtlanmış (Bade vd., 2024; Miettinen vd., 2021) en büyük sorunlardan biri üretim ve tüketim aşamasında oluşan çevresel atıklar, ilaçların ve ambalajlarının çevre ve canlıların sağlığı üzerinde yıkıcı etkisi (Dönmez ve Taşkın, 2023); bu çalışmanın motivasyonunu oluşturmaktadır. Diğer taraftan hem hükümet hem de şirketlerin cevabını aradığı; şirketlerin dış çevresindeki değişikliklere nasıl uyum sağlayacağı, çok yönlü ve karmaşık olan performanslarının nasıl iyileştirileceği sorusuna (Lin vd., 2021) mikro düzeyde katkı sağlanması hedeflenmektedir. Çalışmanın devam eden kısmında literatür araştırması yer almaktadır. Üçüncü bölümde metodolojiye ilişkin açıklamalar, dördüncü bölümde analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Tartışma ve öneriler başlığı ile çalışma sonlandırılmıştır.

1. Literatür Taraması

Çalışmanın amacı ve kapsamı çerçevesinde bu bölümde, ilaç şirketleri ve VZA’ni konu edinen, 2004-2023 yılları arasında yayınlanmış ve erişilebilen 40 makale incelenmektedir. Literatür gövdesi sektör ve yöntem temelinde; örneklem türü ve büyüklüğü, yöntemin değerlendirmeyi amaçladığı performans boyutu, dikkate alınan değişkenler perspektifinde sınıflandırılmıştır.

İlaç sektöründe VZA’ne ilişkin çalışmalar, geleneksel VZA yaklaşımı ile modelleri ve farklı yöntemlerin (çeşitli verimlilik endeksleri ve istatistiksel-yöneylem araştırması vb.) entegre edildiği çalışmalar olarak iki kategoriye ayrılabilir (Tablo 1).

İlaç sektöründe geleneksel VZA’nin kullanıldığı fazlaca çalışmaya rastlanmakta; çalışmaların, aynı bölge veya ülkedeki ilaç şirketleriyle sınırlandırılmış yerel örneklem ölçeğinde yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle Hindistan ilaç şirketlerinin pek çok çalışma kapsamında incelendiği (Goyal ve Kaur, 2017-a; Mahajan vd., 2018; Majumdar, 1994) dikkat çekmekle beraber Endonezya (Hanggraeni, 2014), İran (Karami vd., 2021) ve Yunanistan (Kourtis vd., 2022)’daki ilaç şirketleriyle sınırlandırılmış çalışmalara da rastlanmaktadır. Geleneksel VZA ile küresel örneklem ölçeğindeki şirketlerin değerlendirildiği çalışma sayısının son yıllarda arttığı söylenebilmektedir (Diaz ve Sanchez-Robles, 2020; Diaz ve Sanchez-Robles, 2023). Benzer şekilde VZA’nın zor ve eksik tarafları için geliştirilen (Al-Refaie vd., 2019) window analizi ve gevşek tabanlı modellere (Slacked based model-SBM) henüz güncel çalışmalarda yer verilmektedir. Ulaşılabildiği kadarıyla

Mirmozaffari vd. (2022)'nin küresel örneklem kapsamına sahip çalışmasında window analizinden; Al-Refaie vd. (2023) ile Cui ve Chu (2023) ise Ürdün ve Çin ile (yerel örneklem) sınırlı tuttıkları çalışmalarında gevşek tabanlı modelden faydalanmışlardır.

Tablo 1: İlaç Sektörü ve VZA Temelindeki Literatür Çalışmaları

Yöntem		Küresel örneklem	Yerel örneklem (Ülke-bölge)	
VZA	Geleneksel VZA	Diaz ve Sanchez-Robles (2020); Diaz ve Sanchez-Robles (2023); Gascon vd. (2017); Feroz vd. (2008)	*Goyal ve Kaur (2017-a); *Saranga ve Phani (2009); Goyal ve Kaur (2017-b); Mahajan vd. (2018)	(Hindistan)
			Hanggraeni (2014); Karami vd. (2021); Kourtis vd. (2022)	(Endonezya, İran, Yunanistan)
	Window Analizi, Gevşek Tabanlı Model (SBM)	Mirmozaffari vd. (2022)	Al-Refaie vd. (2023); Al-Refaie vd. (2019)	(Ürdün)
			**Cui ve Chu (2023)	(Çin)
VZA ile Entegre Yöntemler	Malmquist Endeksi		**Xu ve Tan (2022); *Lin vd. (2021)	(Çin)
			Azad vd. (2018); Doraisamy ve Azad (2014)	(Bangladeş)
			**Sueyoshi ve Goto (2014); Hashimoto ve Haneda (2008)	(Japonya)
			Gaebert ve Staňková (2020); Pal vd. (2018)	(Almanya, Hindistan)
	Hicks-Moorsteen, Lerner endeksi, Oyun Çapraz Etkinliği	Fukuyama vd. (2023)	Mohammadian ve Rezaee (2020)	(İran)
			**Shi vd. (2024)	(Çin)
	Bulanık, TOPSIS, BWI, SWOT, Yapay Zeka, Veri Madenciliği, İstatistiksel Yöntemler vb.	Mirmozaffari vd. (2022); Le ve Lu (2022)	Salehi vd. (2020); Habibifar vd. (2019)	(İran)
			**Eskandari vd. (2020)	(Tahran)

*Operasyonel etkinlik amaçlı çalışmalar

**Çevresel etkinlik amaçlı çalışmalar

Schwarz (2008) gelecekteki araştırmalarda, şirketlere özel problemlere yönelik tasarlanmış yöntemlerin entegre edildiği yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir. Nitekim ilaç sektöründe VZA de, farklı endeks ve istatistiksel veya karar verme yöntemleriyle entegre şekilde kullanılmıştır. Küresel örneklem kapsamından ziyade yerel örneklem sınırlılığındaki ilaç şirketlerinin değerlendirilmesinde VZA, toplam faktör verimliliğini ölçen Malmquist endeks yöntemi ile birleştirilmiş; Çin (Xu ve Tan, 2022), Bangladesh (Azad vd., 2018), Japonya (Hashimoto ve Haneda, 2008), Almanya (Gaebert ve Staňková, 2020) gibi farklı ülkelerdeki ilaç şirketlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Malmquist endeksi kadar yaygın olmasa da VZA; Hicks-Moorsteen Endeksi, Lerner Endeksi, Oyun Çapraz Etkinliği (Game Cross Efficiency) ile entegre edilmiştir (Fukuyama vd., 2023; Mohammadian ve Rezaee, 2020). Bunun yanında Le ve Lu (2022) TOPSIS yöntemini; Mirmozaffari vd. (2022) ise yapay zeka ve veri madenciliği yaklaşımlarını ilaç sektöründe VZA ile birlikte kullanmışlardır. Habibifar vd. (2019) ve Salehi vd. (2020) bulanık mantık; Eskandari vd. (2020) ise SWOT ve en iyi en kötü (BWI) yöntemlerini VZA ile entegre etmişlerdir.

Küresel örneklem hacmine sahip çalışmalarda örneklem büyüklüğü 26 şirket (Feroz vd., 2008) ile 249 şirket (Diaz ve Sanchez-Robles, 2023) arasında değişirken bu durum yerel örneklem kapsamındaki çalışmalarda 5

şirket (Karami vd.,2021) ile 251 şirket (Gaebert ve Staňková,2020) arasında değişmektedir. Çok sayıda şirketin etkinliklerinin değerlendirilmesinden farklı olarak Al-Refaie vd.(2023) ve Al-Refaie vd. (2019) Ürdün'deki bir ilaç şirketinin farklı paketleme hatlarındaki gözlem verilerini; Eskandari vd. (2020), Tahran'daki ilaç şirketindeki uzman grubun görüşlerini; Habibifar vd. (2019) ise İran da faaliyet gösteren bir ilaç şirketinde örneklem olarak tanımladığı 42 çalışanın görüşlerini kullanarak şirket etkinliğini belirlemeye çalışmışlardır.

VZA'nın işletmelerin performansının değerlendirilmesinde uygun ve yaygın olarak kullanıldığı literatürde kabul edilmekle birlikte (Le ve Lu, 2022) bu durumun ilaç sektörü için de geçerli olduğunu Lin vd. (2021); ilaç şirketlerinin performanslarının gerçek durumunun ölçülmesi ve iyileştirilmesi ve hatta önerilerin geliştirilmesi için VZA'ni yöntemini kullandıklarını belirterek desteklemektedir. Nitekim ilaç sektöründeki çalışmalarda VZA'nın amacı işletmenin performansının (Karami vd., 2021; Salehi vd., 2020), rekabetçiliğinin (Le ve Lu, 2022; Kourtis vd., 2022), yeteneklerinin (Majumdar, 1994), verimliliğinin (Azad vd., 2018) ve etkinliğinin (Diaz ve Sanchez-Robles, 2023; Gaebert ve Staňková,2020; Mirmozaffari vd., 2022) değerlendirilmesi şeklinde sınıflandırılabilir. Çoğunlukla çalışmalar ilaç şirketlerinin genel performans veya etkinliği (Le ve Lu, 2022; Azad vd., 2018) ile ilgilenirken; bazı çalışmalarda Ar-Ge ve inovasyon (Hashimoto ve Haneda, 2008; Liu 2010), tedarik zinciri yönetimi (Salehi vd., 2020); finans ve maliyet (Goyal ve Kaur, 2017-b; Feroz vd., 2008), operasyonel (Goyal ve Kaur, 2017-a; Lin vd.,2021) ve çevresel (Sueyoshi ve Goto, 2014; Xu ve Tan, 2022) etkinlik boyutu odak alınmaktadır.

İlaç sektörü ve VZA'nın kesiştiği literatürdeki çalışmalar, dikkate alınan girdi-çıktı değişkenleri açısından da incelenmiştir. Çalışmalarda, değerlendirilmesi amaçlanan performans türünden bağımsız olarak; toplam 140 girdi değişkeni, 85 çıktı değişkeni kullanılmıştır. En sık rastlanan girdi-çıktı değişkenlerine ilişkin frekans değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2: İlaç Sektöründe Yaygın Kullanılan DEA Değişkenleri (Girdi-Çıktı) ve Frekansları

GİRDİLER			ÇIKTILAR		
<i>Girdi değişken ifadeleri</i>	<i>sayı</i>	<i>frekans</i>	<i>Çıktı değişken ifadeleri</i>	<i>sayı</i>	<i>frekans</i>
Maliyet (satış, dağıtım, hammadde-malzeme)	19	0.14	Gelirler (satış, ciro vb.)	25	0.29
Çalışan sayısı-maliyeti vb.	19	0.14	Yeni ürün, patent, proje sayısı vb.	10	0.12
Ar-Ge, patent, yeni ürün maliyeti, yatırımı vb.	15	0.11	Kar, kazanç vb.	10	12
Varlıklar (toplam, sabit, maddi olmayan vb.)	14	0.10	Katma değer, endüstriyel çıktı mikt.	6	0.07
Çevresel (enerji-su-elektrik-yakıt-doğal kaynak tüketim mikt./maliyeti, zararlı-dönüştürülebilir malz.)	10	0.07	Çevresel (Emisyon salınım, atık dönüşüm mikt.)	6	0.07
Faaliyet giderleri, maaş ve ücretler	8	0.06	Piyasa değeri	3	0.04
Sermaye maliyeti, yatırımı, birikimi vb.	8	0.06	İhracat	2	0.02
Borç, özsermaye	6	0.04	Diğerleri	23	0.27
Hata/hatalı ürün sayısı vb.	3	0.02			
Diğerleri	38	0.27			
<i>Toplam</i>	140	1.00	<i>Toplam</i>	85	1.00
Toplam Makale sayısı 40					

Bu çalışma VZA aracılığıyla ilaç şirketlerinin operasyonel ve çevresel etkinliğinin değerlendirilmesini amaçladığından literatürde kullanılan operasyonel ve çevresel performans değişkenlerine odaklanılmıştır. İlaç şirketlerinin operasyonel performansının değerlendirilmesinin amaçlandığı kısıtlı çalışmalardan Saranga ve Phani (2009) girdi değişkenleri olarak borç ve özsermaye; çıktı değişkenleri olarak da hissedarlara sağlanan kazançlar, faiz ve vergi ödemelerini dikkate almışlardır. Goyal ve Kaur (2017-a) hammadde, işgücü, üretim, idari, satış ve dağıtım maliyetlerini girdi değişkenleri; işletmenin kar marjını ise çıktı değişkeni olarak kullanmışlardır. Lin vd. (2021) ise sabit varlıkların değeri ve çalışan sayısı (girdi değişkenleri) ile gelir ve kar (çıktı değişkenleri) verileri aracılığıyla operasyonel etkinliği değerlendirmişlerdir. İlgili operasyonel

değişkenler, ilaç şirketlerinin genel performansının değerlendirildiği çalışmalarda (Doraisamy ve Azad, 2014; Feroz vd., 2008; Gascon vd., 2017) değişkenler ile benzerlik göstermektedir. Sektör özel literatürde operasyonel etkinlik odağına sahip olmasa da pek çok çalışmada (Diaz ve Sanchez-Robles, 2023; Hashimoto ve Haneda, 2008). Ar-Ge faaliyetleri ve yeni ürün yetenekleri de yaygın kullanılan değişkenlerdendir.

Sektör özelinde çevresel etkinliğin değerlendirilmesine ilişkin çalışmaların yaygın olmadığı söylenebilmektedir. Cui ve Chu (2023) ile Xu ve Tan (2022) sera gazı emisyon etkinliği ile sınırlandırdıkları çalışmalarında enerji tüketimi (girdi) ve CO₂ emisyon miktarı (çıkıtı) değişkenlerini dikkate almışlardır. Çevresel etkinliği odak alan Sueyoshi ve Goto (2014) ile Shi vd. (2024) enerji, su, elektrik tüketimi ve çevrenin korunmasına ilişkin maliyetler gibi girdi değişkenlerinden; emisyon salınım miktarı, deşarj edilen atık ve atık su miktarı gibi çıktı değişkenlerinden faydalanmışlardır. Eskandari vd. (2020) çevresel boyutun yanında ekonomik ve sosyal boyutlarla birlikte sürdürülebilirliği yalın üretim ile entegre ederek Tahran'daki bir ilaç şirketinin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Çevresel boyut kapsamında doğal kaynakların tüketimindeki azaltma, çevre yönetim sistemleri, tehlikeli ve geri dönüştürülebilir malzemeler; değişkenler olarak çalışma modeline dahil edilmiştir. Çevresel etkinliğin VZA ile değerlendirildiği çalışmalarda girdilerin minimize edilmesi veya çıktıların maksimize edilmesi klasik anlayışından farklı olarak girdilerin maksimize edilmesi veya çıktıların minimize edilmesi amaçlanabilmektedir (Ekiz Bozdemir vd., 2024). İstenmeyen girdi/çıkıtı değişkenlerinin söz konusu olduğu bu anlayışta CO₂ emisyon miktarı, deşarj edilen atık ve atık su miktarı (Xu ve Tan, 2022; Sueyoshi ve Goto, 2014; Shi vd., 2024) sektöre ilişkin çalışmalarda istenmeyen değişkenler olarak dikkate alınmıştır.

2. Araştırma Sorularının ve Amacının Tanımlanması

İlaç sektörünün çevre ve canlıların sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi (Dönmez ve Taşkın, 2023) tüketicilerin ve diğer paydaşların taleplerini şekillendirirken buna ilişkin mevzuatı da etkilemekte (Bade vd. 2024); şirketleri çevresel performanslarını geliştirmeye zorlamaktadır. Sektör özel literatürde çevresel etkinliğin değerlendirildiği çalışmaların henüz kısıtlı olduğunu belirten Xu ve Tan (2022) ile Sueyoshi ve Goto (2014), endüstri faaliyetleri ve çevrenin korunması arasındaki dengenin sağlanmasındaki önemi nedeniyle ilaç şirketlerine ilişkin araştırmaların artırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Çünkü gerek yüksek miktardaki emisyon salınımı gerekse canlıların hayatını tehdit eden kalıcı ilaç atıkları açısından sektörün yeşil olmaktan uzak olduğu belirtilmektedir (www.forvismazars.us).

Eckford (2023), sektörel problem ve endişe kaynaklarından birinin yüksek miktardaki stok israfı ile dünyadaki ilaç kıtlığı arasındaki tezatlık olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde Uthayakumar ve Priyan (2013) ile Moosivand vd. (2019) ilaç sektöründe yüksek miktarlarda hammadde, yarı mamul ve nihai ürün stoku tutulduğunu; bunların da işletme maliyetlerini yükselttiğini vurgulamaktadır. Operasyonel performans ve üretim süreci ile yakından ilişkili olan stokların yönetimine (Hilmola, 2020; Moosivand vd., 2019) ilişkin değişkenlerin dikkate alındığı literatürdeki çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır (Chorfi vd., 2019; Malhotra ve Malhotra, 2015). Dolayısıyla ilaç şirketlerinin operasyonel faaliyetlerinin daha dar kapsamındaki ürün üretim sürecinin performansını (www.ansiklopedi.tubitak.gov.tr) yansıtacak stok yönetimine (Lieberman ve Dhawan, 2005) ilişkin değişkenlerin incelenmesinin hem sektörel problemin dikkate alınmasını hem de gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

İlgili literatürdeki çalışmaların çoğunlukla belirli bir ülke veya bölge ile sınırlandırılması, daha da önemlisi Türkiye'de faaliyet gösteren ilaç şirketlerinin operasyonel ve çevresel etkinliğinin değerlendirildiği yerel veya küresel örneklem kapsamında bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Dolayısıyla Türkiye'deki ilaç şirketlerinin küresel örnekleme dahil edilmesi, böylelikle küresel rekabette mevcut operasyonel ve çevresel performans durumlarının belirlenerek yerel şirketlere ve sektöre ilişkin çıkarımlar sağlanması; alınacak önlemler açısından önemli olabilecektir.

Bu çalışma, Türkiye'deki ilaç şirketlerini de içerecek şekilde farklı bölgelerde faaliyet gösteren ilaç şirketlerinin, operasyonel ve çevresel etkinliklerinin VZA ile değerlendirilmesi ve şirket performanslarının karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Literatürdeki boşluklar ve sektörde yaşanan sorunlar çerçevesinde cevapları aranan araştırma soruları aşağıda sıralanmıştır:

- Dünya'nın önde gelen ilaç şirketlerinin operasyonel etkinlik ve çevresel etkinlik durumu nedir? En yüksek performansa sahip şirketler nelerdir?
- Şirketlerin operasyonel ve çevresel etkinlikleri arasında bir paralellik var mıdır?
- Operasyonel ve çevresel değişkenlerin birleştirilmesiyle elde edilen bütünsel etkinlik durumuna ilişkin şirket sıralaması nedir?

- Türkiye’deki ilaç şirketlerinin diğer şirketler arasındaki etkinlik durumu nedir?

3. Metodoloji

3.1. Veri Zarflama Analizi (VZA)

Farrel’ın 1957 yılındaki verimliliğin değerlendirilmesine ilişkin çalışmasına dayanan ve ilk modeli Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında geliştirilen (Kecek, 2010; Özbek, 2019; Özkan, 2019) Veri Zarflama Analizi (VZA), şirketlerin girdileri çıktıya dönüştürme performanslarının değerlendirilmesiyle ilgilenir (Haynes ve Dinç, 2004). VZA, ürettikleri mal veya hizmetler açısından birbirine benzeyen ekonomik karar alma birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmek için geliştirilen parametrik olmayan ve matematiksel doğrusal programlama prensiplerine dayanan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Haynes ve Dinç, 2004).

VZA modelleri, ölçeğe göre sabit (constant returns to scale-CRS) ve değişken getirili (variable returns to scale-VRS) olmak üzere iki gruba; bu modellerin yönelimlerine göre de girdi yönelimli, çıktı yönelimli veya yönelimsiz gruplara ayrılmaktadır (Goyal ve Kaur, 2017-a; Kecek, 2010). Karar birimlerinin ölçeğe göre sabit getiriye sahip oldukları varsayımı altında ve birimlerin toplam etkinliklerinin belirlenmesinde CRS veya odaksız modeller kullanılabilirken; karar birimlerinin ölçeğe göre değişken getiriye sahip oldukları varsayımı altında ve sadece birimlerin teknik etkinliklerinin belirlenmesinde VRS veya toplamsal modeller kullanılabilmektedir (Özden, 2008; Özbek, 2019). VZA modellerine ilişkin geniş bilgi literatürde bulunmaktadır.

Bu çalışmada, farklı büyüklükteki şirketler incelendiğinden ölçek etkilerinin hesaba katılabilmesi için (Tsolas, 2021) VRS modeli kullanılmıştır. Dahası Hanggraeni (2014) eksik rekabet gibi nedenlerle ilaç şirketlerinin optimum seviyede faaliyet gösteremediğini; Gascon vd. (2017) ise ilaç sektöründeki çalışmalarda ölçek etkilerinin öneminin göz önüne alınması gerektiğini belirterek VRS modellerinin kullanılması gerektiğini savunmaktadır.

Ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında etkinlik analizinin gerçekleştirilmesini sağlayan VRS modelinde (Ayçin, 2019), yoğunluk vektörü (λ) karar değişkenleri toplamının 1’e eşit olmasıyla kısıtlanmaktadır. Böylece CRS modelindeki karar biriminin ölçek etkin olma zorunluluğu ortadan kalkmaktadır (Kecek, 2010).

Girdi Odaklı modeller, belirli bir çıktı seviyesini değiştirmeden girdi bileşiminin ne kadar azaltılması gerektiğini araştırmakta (Ayçin, 2019; Özbek, 2019); bu nedenle amaç fonksiyonunda da kullanılan girdi miktarının en küçüklenmesi hedeflenmektedir (Kecek, 2010). Girdi odaklı primal (Eşitlik 1) ve dual (Eşitlik 2) VRS Modelinin matematiksel ifadesi aşağıda gösterilmektedir (Özden, 2008):

Primal model;.....(1)	Dual model;..... (2)
Amaç Fonksiyonu	Amaç Fonksiyonu
$Min \theta_k$	$Max z = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u_k$
Kısıtlayıcılar	Kısıtlayıcılar
$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n \lambda_{jk} x_{ij} \geq 0$	$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_k \leq 0$
$\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} y_{rj} \geq y_{rk}$	$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$
$\sum_{j=1}^n \lambda_{jk} = 1$	$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, u_k \text{ serbest}$
$\lambda_{jk} \geq 0$	

Çıktı Odaklı modeller ise sabit girdi seviyesini değiştirmeden çıktı bileşiminin ne kadar artırılması gerektiğini araştırmaktadır (Ayçin, 2019; Özbek, 2019). Bu nedenle bu modellerin amacı elde edilen çıktı miktarının en büyüklenmesidir (Kecek, 2010). Çıktı odaklı primal (Eşitlik 3) ve dual (Eşitlik 4) VRS Modelinin matematiksel ifadesi aşağıda gösterilmektedir (Özden, 2008):

Primal model;.....(3)	Dual model;.....(4)
Amaç Fonksiyonu	Amaç Fonksiyonu
$Max Z_k$	$Min z = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - v_k$

Kısıtlayıcılar $Z_k y_{rk} - \sum_{j=1}^n \eta_{jk} y_{rj} \leq 0$ $\sum_{j=1}^n \eta_{jk} x_{ij} \leq x_{ik}$ $\sum_{j=1}^n \eta_{jk} = 1$ $\eta_{jk} \geq 0$	Kısıtlayıcılar $-\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_k \geq 0$ $\sum_{i=1}^m u_r y_{rk} = 1$ $u_r, v_i \geq \varepsilon > 0, u_k \text{ serbest}$
---	--

Modele ilişkin notasyonlar;

u_r : k karar birimi tarafından r'inci çıktıya verilen ağırlık

v_i : k karar birimi tarafından i'inci girdiye verilen ağırlık

y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı miktarı

x_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi miktarı

y_{rj} : j'inci karar verme birimi (KVB) tarafından üretilen r'inci çıktı miktarı

x_{ij} : j'inci karar verme birimi (KVB) tarafından kullanılan i'inci girdi miktarı

ε : pozitif çok küçük değer

Belirli girdi ve çıktı koşullarında etkinliğin hesaplanması ve değerlendirilmesinin yanında etkin sınırların belirlenmesinde en güçlü ve en etkili yöntemlerden biri olduğu kabul edilen (Monzeli vd., 2020) VZA, girdilerin en aza indirilmesi ve çıktıların en yüksek düzeye çıkarılması gerektiği varsayımına dayanmaktadır (Jahanshahloo vd., 2005). Fakat gerçek uygulamalarda sıklıkla istenmeyen girdiler ve/veya çıktıların karşılaşılmaktadır (Liu vd., 2010). Örneğin bir fabrikanın atığı veya hastanelerdeki hasta ölümleri etkinliğin artırılması için istenmeyen çıktı olarak tanımlanmakta ve azaltılması hedeflenmektedir. İstenmeyen girdi ve/veya çıktı sorununun çözülmesi için literatürde doğrudan ve dolaylı yaklaşımlar önerilmiştir (Monzeli vd., 2020).

Doğrudan yaklaşım, istenmeyen girdileri istenen çıktılar olarak veya istenmeyen çıktıları istenen girdiler olarak kabul etmektedir. Verimsiz bir karar alma biriminin performansını iyileştirmek için istenmeyen çıktılar ve istenen girdiler azaltılmalı, istenen çıktılar ve istenmeyen girdiler ise artırılmalıdır (Jahanshahloo vd., 2005). Uygulanması en basit yöntem olan doğrudan yaklaşım; fiziksel girdi-çıkışı ilişkisini değiştirdiği (Liu vd., 2010) için gerçek üretim sürecini yansıtmayacağı ve dolayısı ile doğru bir değerlendirme gerçekleştiremeyebileceği gerekçesiyle eleştirilmektedir (Ekiz Bozdemir vd., 2024).

Dolaylı yaklaşımlar, istenmeyen girdi ve çıktıları monoton azalan bir fonksiyonla istenen girdi ve çıktıların dönüşürdükten sonra performansın VZA'nın standart modelleri kullanılarak değerlendirilmesini sağlamaktadır (Monzeli vd., 2020). En yaygın kullanılan dönüşümlerden biri $f(U) = -U$ 'dur (U ; istenmeyen girdi veya çıktı değerleri) (Antoun Netto vd., 2021). Bu dönüşüm fonksiyonu sonucunda veriler negatif değerler alabileceğinden negatif verileri göz önüne alan etkinlik modellerinin tercih edilmesi gerekmektedir (Ekiz Bozdemir vd., 2024). Diğer dönüşüm fonksiyonu $f(U) = -U + \beta$ olup, bu fonksiyonunun pozitif değer alabilmesi için β yeterince büyük bir skaler sayı şeklinde tanımlanmakta; fakat farklı β değerlerine göre etkinlik skorları ve sıralamaları değişkenlik gösterebilmektedir (Ekiz Bozdemir vd., 2024). Literatürde yaygın kullanılan dönüşümlerden biri de çarpımsal ters dönüşüm fonksiyonu ($f(U) = 1/U$)'dur (Lewis ve Sexton, 2004; Scheel, 2001; Lovell vd., 1995). Bu dönüşüm yöntemi, basit olmasının (Tarı ve Sezer, 2017) yanında modelin konvekslik özelliğini koruduğundan modele ilişkin temel varsayımlarında da problem yaratmamaktadır (Yürüşen, 2011). İlaç şirketlerinin etkinlik durumlarına göre sıralanması ve karşılaştırılmasının amaçlandığı bu çalışmayı, karmaşıklıktan uzaklaştırmak ve daha yalın, anlaşılır kılmak için istenmeyen girdi ve çıktı değişkenleri için çarpımsal ters dönüşüm yaklaşımı ($f(U) = 1/U$) kullanılmıştır.

3.2. Değişken Seçimi

VZA'ndeki karar birimlerinin ilaç şirketleri olarak tanımlandığı bu çalışmada değişkenlerin seçilmesi sürecinde operasyonel ve çevresel göstergelerin yer aldığı bir değişken sepeti oluşturulmuş, şirket özelinde bu değişken verilerine ulaşılabilirlik ve değişkenler arasındaki korelasyon ilişkisi (Bastani vd., 2021) doğrultusunda değişkenler sınırlandırılmıştır. İlaç sektöründe yaygın kullanılan girdi-çıkışı değişkenlerine odaklanılmakla birlikte özellikle operasyonel etkinlik açısından üretim süreci ile ilişkili ve daha spesifik değişken alternatifleri araştırılmıştır.

Operasyonel performansın üretim süreci ile ilişkili olduğu noktalardan biri olan stok planlaması, üretim ve tedarik zinciri yönetimine göre şirket performansının vazgeçilmez bir parçasıdır (Hilmola, 2020; Moosivand vd.,2019). Nitekim stok miktarı ve maliyetleri, stok devir oranı gibi ölçütleri dikkate alan farklı alanlarda pek çok çalışmaya rastlansa da (Rao ve Rao, 2009) ilaç sektöründeki çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır (Chorfi vd., 2019; Malhotra ve Malhotra, 2015). Halbuki hem klinik hem de finansal sonuçları etkilediği için ilaç sektöründe stok yönetimi, karmaşık ancak kritik bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Uthayakumar ve Priyan, 2013). Düşük bir müşteri hizmet seviyesinin kabul edilemez olduğu sektörde haklı olarak yüksek miktarlarda hammadde, yarımamül ve nihai ürün stoku tutulduğu ifade edilmektedir (Uthayakumar ve Priyan, 2013; Moosivand vd.,2019). Fakat Eckford (2023)’a göre ilaç sektöründeki stok israfı bir endişe kaynağı olup büyük bir sektörel problem haline gelmektedir. Çünkü esnekliği ve müşteri memnuniyetini yükseltse ve satış kaybını azaltsa da yüksek miktarda stok bulundurmamak, daha fazla depolama alanı ve yönetim ihtiyacını gündeme getirmekte, maliyetlerin artması ve malzeme/ürüne ilişkin son kullanma tarihinin geçmesine neden olabilmektedir (Moosivand vd., 2019). Stok yönetimi probleminin temel nedeni Wick ve Strazovska (2020)’a göre ilaç sektörünün bağımsız talep yapısına sahip olması, şirketlerin içinde bulundukları tedarik zincirindeki üyelerle entegre hareket etme yerine kendi faaliyetlerine özellikle satış gücüne odaklanmalarıdır.

Sektörel bir problem olduğu ifade edilen stok yönetiminin dikkate değer olduğu düşüncesiyle bu çalışmada ilaç şirketlerinin stok maliyetleri ile kaynaklarını etkili ve verimli bir şekilde kullanma becerisinin bir ölçüsü olan (Rao ve Rao, 2009; Chorfi vd., 2019) stok devir hızının değişken olarak dikkate alınması hedefiyle değişken sepetine eklenmiştir. Muller (2011), bağımsız talebin söz konusu olduğu üretim süreçlerinde hammadde stokunun; bağımlı talep durumunda ise ham madde ve süreç içi stokunun (work in process-WIP) yükseldiğini belirtmektedir. Buna ek olarak üretim ve operasyon yönetiminde süreç içi stoklar, üretim yeteneklerinin özet bir istatistiğini sağlarken, bu kalemdeki azalmalar süreç iyileştirilmesinde itici bir güç sağlamaktadır (Lieberman ve Dhawan, 2005). Sektörün bağımsız talep yapısı nedeniyle nihai ürün stoku tutma gerekliliği göz önüne alınarak; üretim yeteneklerinin de bir göstergesi olarak ortalama hammadde ve süreç içi stok miktarlarının çalışmanın değişken sepetinde yer almasının uygun olacağı düşünülmüştür. Nitekim ilaç sektörü literatüründe ulaşılabildiği kadarıyla stok türlerinin incelendiği bir çalışmaya da rastlanmamıştır.

Operasyonel yönetimde Ar-Ge faaliyetlerine yapılan yatırım veya harcamaların üretim süreçlerini, ürünleri ve teknolojiyi iyileştirdiği ve geliştirdiği, verimlilik ve şirket performansını artırdığı literatür tarafından kabul edilmektedir (Saranga ve Phani, 2009). Lin vd. (2021)’ne göre henüz yeterli olmasa da sektör özel literatürde Ar-Ge yetenekleri dikkate alınmış (Diaz ve Sanchez-Robles, 2023) fakat operasyonel etkinlik amacı taşıyan çalışmalarda bu değişken kullanılmamıştır.

Böylece operasyonel etkinliğin değerlendirilmesi için değişken sepetine; ortalama hammadde ve süreç içi stok maliyetleri, Ar-Ge harcamaları, çalışan sayısı girdi değişkenleri; stok devir hızı ve satış gelirleri çıktı değişkenleri (Goyal ve Kaur, 2017-a; Saranga ve Phani, 2009; Lin vd., 2021) olarak değişken sepetine eklenmiştir. Bu değişkenlerin, bir ürün veya hizmetin geliştirilmesi ve satılması için biriktirebilir (sermaye) ve biriktirilemez bir faktörün (emek) tahsisi olarak üretim sürecinin doğasını doğru bir şekilde yansıttığı (Diaz ve Sanchez-Robles, 2023) varsayılmıştır.

Çevresel etkinliğin değerlendirilmesine ilişkin değişken seçiminde literatürde en yaygın kullanılan girdi-çıktı değişkenlerine bağlı kalınmıştır. Değişken sepetine eklenen girdi değişkenleri su tüketim miktarı (Shi vd., 2023), enerji tüketim miktarı (Cui ve Chu, 2023; Xu ve Tan, 2022); çıktı değişkenleri ise atık miktarı (Sueyoshi ve Goto,2014; Eskandari vd., 2022) ve emisyon salınım miktarı (Shi vd., 2023; Sueyoshi ve Goto,2014; Xu ve Tan, 2022)’dır.

Değişken sepetine eklenen değişkenlerle ilgili bilgiler Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3: Değişken Sepetine Eklenen Değişkenler

Değişkenler	Değişken türü	Tanım	Birim
Ar-Ge Harcaması (AH)	Operasyonel	girdi (istenmeyen)	Yeni süreç, teknik, uygulama ve ürünlerin yaratılması ve geliştirilmesiyle ilgili yıllık doğrudan ve dolaylı maliyetler
Çalışan sayısı (ÇS)		girdi	Yıl sonu itibarıyla şirketteki ortalama istihdam miktarı
Ort.Ham.ve WIP maliyeti (OHW)		girdi	Dönem başı ve dönem sonu toplam hammadde ve süreç içi stok maliyeti ortalaması
			(milyon USD)
			(kişi)
			(milyon USD)

Stok devir hızı (SDH)		çıktı	Satışların maliyetinin ortalama tüm stoklara oranı	(%)
Satış gelirleri (SG)		çıktı	Elde edilen yıllık satış tutarı	(milyon USD)
Enerji tüketim miktarı (ETM)	Çevresel	girdi	Yıllık enerji tüketimi	(terawatt saat)
Su tüketim miktarı (STM)		girdi	Yıllık su tüketimi	(hektometreküp)
Emisyon salınım miktarı (ESM)		çıktı (istenmeyen)	Şirketten kaynaklanan CO ₂ emisyonları (Kapsam 1 ve Kapsam 2)	(kiloton CO ₂ eşdeğ.)
Atık miktarı (AKM)		çıktı (istenmeyen)	Yıllık üretilen toplam atık (tehlikeli ve tehlikesiz) miktarı	(kiloton)

3.3. Örneklem ve Veriler

Şirketlerin, rekabet avantajı sağlamak için faaliyetlerinin yarattığı ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri ve bu etkilere ilişkin sonuçları paydaşlarının taleplerine cevap verecek şekilde paylaştıkları en önemli araçlar arasında faaliyet raporları ve sürdürülebilirlik raporları yer almaktadır (Çalışkan, 2012). Dolayısıyla ilaç şirketlerine ilişkin verilerin en güvenilir şekilde elde edilebilmesi için verilerinin ve iddialarının gerçek olması şartını sağladıkları varsayımıyla (ACCC, 2024) faaliyet ve sürdürülebilirlik raporu yayınlanan yerel ve küresel ilaç şirketlerinin çalışma kapsamına dahil edilmesi ve şirketlerin birincil verilerine ulaşılması hedeflenmiştir. Böylece bilimsel araştırmada veri kaynağı olan şirket raporları (Balaban Salı, 2012) araştırılmış, web sayfaları incelenmiştir.

Yerel ilaç şirketlerinin seçiminde, IQVIA tarafından yayınlanan Türkiye'nin İlaç Sektörü Raporu (2023) temel alınmıştır. Rapora göre 2022 yılında ilaç sektöründe en yüksek ihracat miktarına sahip yerel ilaç şirketlerinden faaliyet ve sürdürülebilirlik raporu yayınlayan sadece dört şirkete ulaşılabilmektedir (Abdi İbrahim İlaç Sanayi ve Tic. A.Ş., Deva Holding, Gen İlaç ve Sağlık Ürünleri San. ve Tic. A.Ş., Eczacıbaşı İlaç Sınai ve Finansal Yatırımlar).

Küresel ilaç sektörü, satışların arttığı ve çok fazla şirketin faaliyet gösterdiği büyük bir endüstridir (OECD iLibrary, 2020). Farklı alanlarda ve kapsamlarda (en yüksek ihracat miktarı, gelir vb.) dünyanın önde gelen ilaç şirketleri listeleri yayınlanmıştır. En güncel araştırmalardan biri yaşam bilimleri konusunda danışmanlık veren Proclinical Dergisindeki Burke (2023)'ün makalesi olup; 2023 yılında en yüksek gelire sahip ilk on ilaç şirketi listelenmiştir. Benzer fakat daha geniş kapsamda bir sıralama ile Christel (2023) makalesinde satış miktarı ve Ar-Ge harcamaları en yüksek 50 ilaç şirketini açıklamıştır. En güncel verilerle en fazla ilaç şirketinin dikkate alınması nedeniyle Christel (2023)'in makalesindeki en büyük otuz ilaç şirkettinden hem faaliyet hem sürdürülebilirlik raporu yayınlayan yirmi sekiz şirkete ulaşılabilmektedir.

Çalışmanın değişken sepetine eklenen değişkenlere ilişkin veriler, ilaç şirketlerinin faaliyet ve sürdürülebilirlik raporları taranarak araştırılmıştır. Ulaşılmak istenen değişken verilerine bazı ilaç şirketlerinin raporlarında yer verilmemiştir (Abdi İbrahim İlaç Sanayi ve Tic. A.Ş., Bayer Pharma AG). Hem faaliyet ve sürdürülebilirlik raporu yayınlayan hem de belirlenen değişken verilerine sahip üç yerel, yirmi dört küresel ilaç şirketi (toplam 27 şirket) çalışma kapsamına dahil edilmiştir.

Değişken sepetindeki operasyonel ve çevresel değişken verileri ilaç şirketlerinin raporlarından elde edilmiştir. Veriler MS Excel 2016 tablolarına aktarılmış, ortak birimlere dönüştürülmüştür. Yirmi yedi ilaç şirketine ilişkin değişken verileri için Jamovi yazımı aracılığıyla Shapiro-Wilk ($n < 50$) normallik testi (Haşiloğlu ve Haşiloğlu Ciftciler, 2023) yapılmış; enerji tüketim miktarı ($p = 0.066$) ile ortalama hammadde ve süreç içi stok maliyetleri ($p = 0.150$) dışındaki tüm değişkenlerin ($p < 0.05$) normal olmayan dağılım gösterdikleri sonucuna ulaşılmıştır (Tablo 3). Böylece normal dağılım varsayımının gerekli olmadığı VZA'nın (Le vd., 2022) bu çalışma için uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değişken sepetindeki değişkenlere ilişkin ayrıntılı bilgi ve tanımlayıcı istatistikler Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4: Değişkenlere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	Ortalama	St. Sapma	Min	Maks	Shapiro-Wilk testi (p)
AH	4604	5154	0.215	17416	p<0.001
ÇS	47086	38365	497	153677	p<0.05
ETM	1.700	1.350	0.0141	4.860	0.066
STM	3.910	4.180	0.0746	19.100	p<0.001
OHW	2768	2088	9.930	7789	0.150
ESM	832	1682	8.550	8940	p<0.001
AKM	75.600	85.400	0.328	371	p<0.001
SDH	2.950	3.380	0.473	18.400	p<0.001
SG	27466	23695	98.100	94943	p<0.05

VZA’nde girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki tüm karşılıklı korelasyonların hesaplanması olarak tanımlanan izotoniklik testinin yapılması gerekmektedir (Peykani vd., 2022). Girdi-çıktı değişkenlerinin araştırılmaya uygunluğu (değişkenlerin normal dağılım koşulunu sağlamaması nedeniyle) Spearman korelasyon analizi (Özdamar, 2004) ile test edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5: Girdi-Çıktı Değişkenlerine İlişkin Spearman Korelasyon Matrisi

Değişkenler	AH	ÇS	ETM	STM	OHW	ESM	AKM	SDH	SG
AH	1								
ÇS	0.712***	1							
ETM	0.642***	0.852***	1						
STM	0.347	0.612***	0.752***	1					
OHW	0.656***	0.808***	0.731***	0.422*	1				
ESM	0.614***	0.785***	0.857***	0.634***	0.705***	1			
AKM	0.444*	0.692***	0.731***	0.707***	0.537**	0.733***	1		
SDH	0.321	0.076	0.198	-0.049	-0.183	0.132	-0.062	1	
SG	0.764***	0.755***	0.587**	0.393*	0.673***	0.526**	0.374	0.150	1

***, ** ve *, sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

VZA’nde kullanılan girdi miktarı ile elde edilebilecek çıktı miktarı arasında doğrudan ilişkiler olduğu varsayımına dayanmaktadır. VZA modelleri oluşturulurken değişkenler arasında bir korelasyon olup olmadığı çoğu durumda göz ardı edilse de, bunun; sonuçları etkileyen temel faktörden biri olduğu belirtilmektedir. VZA’nde girdi ve çıktı değişkenleri arasında, yalnızca girdi değişkenleri ve yalnızca çıktı değişkenleri arasında olmak üzere üç farklı korelasyon ilişkisi bulunmaktadır (Lopez-Toro vd., 2021). Tablo 5’deki Spearman korelasyon matrisine göre stok devir hızı değişkeni dışındaki diğer girdi ve çıktı değişkenleri arasında %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde pozitif yönlü ilişkiler bulunmaktadır. VZA’nde belirlenen girdi (çıktı) değişkenlerinin birbirinden bağımsız olması gerektiği belirtilse de gerçek dünyada bu pek mümkün olmayabilmektedir. Girdi (çıktı) değişkenleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.9 ve 0.9’un üzerinde değilse ve girdi ile çıktı değişkenleri arasındaki korelasyon nispeten yüksek ise girdi (çıktı) değişkenleri arasındaki korelasyonun önemli olmadığı ifade edilmektedir (Bastani vd., 2021). Dolayısıyla orta ve yüksek derecede korelasyona sahip girdi ve çıktı değişkenleri araştırmaya uygun olmakla birlikte; stok devir hızı değişkeni diğer herhangi bir değişkenle korelasyon ilişkisinin bulunmaması nedeniyle araştırma dışında tutulmuş ve değişken sepetinden çıkarılmıştır. Böylece Tablo 5’deki stok devir hızı dışındaki tüm değişkenler araştırma modeline dahil edilmiştir. VZA’nde karar birimi sayısının (27 ilaç şirketi) girdi ve çıktı değişken sayısı toplamının (8 değişken) en az üç katı olma koşulu (Kecek, 2010) sağlanmaktadır.

4. Bulgular

Bu çalışmada farklı büyüklükteki yirmi yedi şirketin saf etkinlikleri değerlendirildiği için ve ilaç sektöründe ölçek etkilerinin önemi göz önüne alındığında CRS modelinin geçerli olmaması (Tsolas, 2021; Majumdar, 1994) nedeniyle VRS modeli (girdi odaklı ve çıktı odaklı) kullanılmıştır. Tüm şirketlerin yayınladıkları en güncel (2022 yılı) verilerin analizi DEAP (Version 2.1) programında yapılmıştır. Elde edilen operasyonel ve çevresel etkinlik sonuçları Tablo 6’de verilmektedir.

Tablo 6: İlaç Şirketlerinin Operasyonel ve Çevresel Etkinlik Sonuçları

İlaç şirketleri	Operasyonel Performans				Çevresel Performans			
	Girdi odaklı		Çıktı odaklı		Girdi odaklı		Çıktı odaklı	
	Etkinlik değeri(%)	Etkinlik sırası	Etkinlik değeri(%)	Etkinlik sırası	Etkinlik değeri(%)	Etkinlik sırası	Etkinlik değeri(%)	Etkinlik sırası
Abbvie	1.000	1	1.000	1	0.015	22	0.011	20
Amgen	0.800	13	0.676	12	0.131	5	0.052	9
AstraZeneca	0.397	25	0.619	15	0.066	9	0.019	15
Biogen	0.706	16	0.355	24	0.070	8	0.096	5
Bristol Myers Squibb	1.000	1	1.000	1	0.061	10	0.024	13
CSL	0.350	26	0.246	26	0.016	20	0.025	12
Daiichi Sankyo	0.540	22	0.539	16	0.018	19	0.039	10
Deva Holding	1.000	1	1.000	1	0.200	3	0.231	3
Eis Eczacıbaşı İlaç	1.000	1	1.000	1	0.019	16	0.029	11
Eli Lilly	0.796	14	0.498	18	0.058	11	0.008	23
Gen İlaç	1.000	1	1.000	1	1.000	1	1.000	1
Gilead Sciences	1.000	1	1.000	1	0.094	6	0.061	7
GSK	0.499	24	0.380	22	0.051	12	0.009	22
Johnson&Johnson	1.000	1	1.000	1	0.010	24	0.007	24
Merck KGaA	0.591	19	0.392	20	0.016	20	0.005	26
Merck & Co.	1.000	1	1.000	1	0.004	27	0.007	24
Moderna	1.000	1	1.000	1	0.750	2	0.387	2
Novartis	0.745	15	0.659	13	0.010	24	0.010	21
Novo Nordisk	0.628	17	0.429	19	0.019	16	0.093	6
Organon	1.000	1	1.000	1	0.178	4	0.113	4
Pfizer	0.838	12	0.105	27	0.019	16	0.003	27
Regeneron Pharm.	0.508	23	0.273	25	0.073	7	0.061	7
Roche	1.000	1	1.000	1	0.026	14	0.023	14
Sanofi	0.613	18	0.632	14	0.006	26	0.016	17
Takeda	0.348	27	0.536	17	0.033	13	0.012	18
Teva Pharm.	0.550	21	0.366	23	0.012	23	0.017	16
Viartis	0.561	20	0.383	21	0.021	15	0.012	18
Ortalama	0.758		0.670		0.110		0.088	

VZA’nde etkinlik değeri 1.00 olan şirketler en iyi performansa sahip olan etkin şirketler; diğerleri etkin olmayan şirketler olarak iki kümeye ayrılır (Karami vd., 2021). İki girdi değişkeni (Ar-Ge harcamaları, ortalama hammadde ve süreç içi stok maliyeti) ve bir çıktı değişkeni (satış gelirleri) temelinde değerlendirilen operasyonel performans sonuçlarına göre hem girdi odaklı hem de çıktı odaklı modelde 11 ilaç şirketi etkinliği

sağlamaktadır. Operasyonel performansın değerlendirilmesinde çıktı değişkeni olan satış geliri, şirket yönetiminin kontrolünde olmayan talep, ihracat vb. gibi dış faktörlere bağlı olduğundan (Mahajan vd., 2018) girdi odaklı VRS modelinin sonuçlarına odaklanılmıştır. Girdi odaklı modele göre ortalama operasyonel etkinlik değeri 0.758'dir. Üstün bir operasyonel performans göstermese de Pfizer (0.838), Amgen (0.800) ve Eli Lilly (0.796) etkinliğe en yakın şirketlerdir. En düşük operasyonel performans sergileyen şirketler ise Takeda (0.348) ve CSL (0.350)'dir. Yerel ilaç şirketleri (Deva Holding, Eis Eczacıbaşı İlaç, Gen İlaç) operasyonel olarak etkin şirketler arasında yer almaktadır.

İki girdi değişkeni (enerji tüketim miktarı ve su tüketim miktarı) ve iki çıktı değişkeni (emisyon salınım miktarı ve atık miktarı) temelinde değerlendirilen çevresel performansa ilişkin ortalama etkinlik değerleri; girdi odaklı model için 0.110; çıktı odaklı model için 0.088'dir. Çevresel etkinlik ortalama değerlerinin operasyonel etkinlik ortalama değerlerine göre düşük olması ilaç şirketlerinin faaliyetlerinde çevresel faktörlere yeterince dikkat edilmediğini göstermektedir. Yerel ilaç şirketi Gen İlaç'ın hem girdi hem de çıktı odaklı modele göre çevresel etkinliğe sahip tek şirket olması dikkat çekici sonuçlar arasında yer almaktadır. Her iki modele (girdi-çıkıtı) göre çevresel performans açısından etkinliğe en yakın ilk üç şirket sıralaması (Moderna, Deva Holding, Organon) değişmemektedir. Girdi odaklı modelde en düşük çevresel etkinliğe sahip şirket Merck & Co. (0.004) iken çıktı odaklı modelde Pfizer (0.003)'dir. Girdi odaklı çevresel performans açısından (enerji ve su tüketimi konusunda) etkinlik değeri nispeten ortalamadan üstünde kalan Amgen şirketi; çıktı açısından (emisyon salınım miktarı ve atık miktarı konusunda) ortalama değer altındadır. Aksi durum Biogen, Novo Nordisk şirketleri için de söz konusudur.

Şirketlerin 2022 yılı için operasyonel ve çevresel performans değişkenleri birleştirilerek (5 girdi-3 çıktı) bütünsel etkinlik (operasyonel+çevresel) değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmektedir.

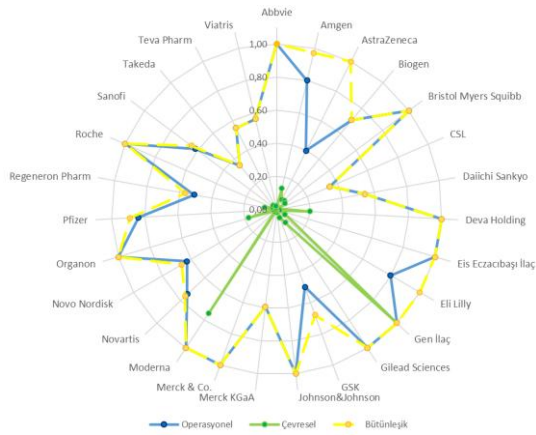
Tablo 7: Bütünsel Etkinlik Sonuçları

İlaç şirketleri	Girdi odaklı		Çıktı odaklı	
	Etkinlik değeri (%)	Etkinlik sırası	Etkinlik değeri (%)	Etkinlik sırası
Abbvie	1.000	1	1.000	1
Amgen	0.971	14	0.844	14
AstraZeneca	1.000	1	1.000	1
Biogen	0.706	17	0.454	21
Bristol Myers Squibb	1.000	1	1.000	1
CSL	0.350	26	0.263	26
Daiichi Sankyo	0.540	25	0.539	19
Deva Holding	1.000	1	1.000	1
Eis Eczacıbaşı İlaç	1.000	1	1.000	1
Eli Lilly	1.000	1	1.000	1
Gen İlaç	1.000	1	1.000	1
Gilead Sciences	1.000	1	1.000	1
GSK	0.679	18	0.508	20
Johnson&Johnson	1.000	1	1.000	1
Merck KGaA	0.591	21	0.394	22
Merck & Co.	1.000	1	1.000	1
Moderna	1.000	1	1.000	1
Novartis	0.764	16	0.667	15

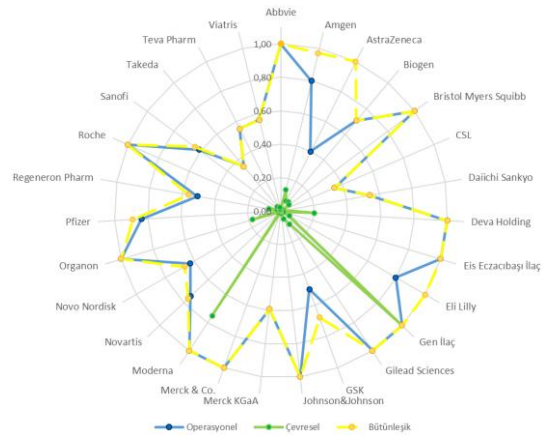
Novo Nordisk	0.666	19	0.655	16
Organon	1.000	1	1.000	1
Pfizer	0.891	15	0.115	27
Regeneron Pharm.	0.562	22	0.331	25
Roche	1.000	1	1.000	1
Sanofi	0.644	20	0.641	17
Takeda	0.348	27	0.576	18
Teva Pharm.	0.550	24	0.366	24
Viatis	0.561	23	0.383	23
Ortalama	0.808		0.731	

Tablo 7'ye göre hem girdi hem de çıktı odaklı modelde 13 şirket bütünleşik etkinliği sağlamıştır. Girdi odaklı modele göre ortalama etkinlik değeri 0.808 iken çıktı odaklı modelde 0.731'a düşmüştür. Dolayısıyla şirketlerin girdi değişkenleri açısından performanslarının nispeten daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir. Amgen (0.971) ve Pfizer (0.891) girdi odaklı modelde etkin şirketler kümesinde yer almamasına rağmen ortalama etkinlik değeri (0.808) üzerinde performans göstermişlerdir. Amgen şirketi (0.844) için çıktı odaklı modelde de aynı durum geçerlidir. Girdi odaklı modelde Takeda (0.348); çıktı odaklı modelde Pfizer (0.115) performansı en düşük şirketlerdir. Yerel şirketlerin (Deva Holding, Eis Eczacıbaşı İlaç, Gen İlaç) bütünleşik performans açısından etkin olduğu da önemli sonuçlar arasındadır.

Şekil 1'de ilaç şirketlerinin girdi (a) ve çıktı (b) odaklı operasyonel, çevresel ve bütünleşik etkinlik durumları eş zamanlı olarak gözlenebilmektedir.



a) Girdi odaklı model



b) Çıktı odaklı model

Şekil 1: Operasyonel, Çevresel ve Bütünleşik Etkinlik Sıralaması

Girdi odaklı ve çıktı odaklı VZA sonuçları oldukça benzerdir. Şekil 1 (a) ve Şekil 1 (b)'de en dikkat çekici sonuç şirketlerin operasyonel ve bütünleşik performanslarının nispeten birbirine yakın olsa da operasyonel ve çevresel etkinlik durumları arasında büyük farkın olmasıdır. Her iki model için (girdi odaklı-çıktı odaklı) operasyonel performans açısından etkin bazı şirketler (Abbvie, Johnson&Johnson, Merck & Co.) çevresel performans açısından oldukça düşük etkinlik düzeyine sahiptir. Ters durum için Biogen ve Regeneron Pharm. şirketlerinin çevresel performans sıralaması operasyonel performans sıralamasına göre daha yüksektir. Astra Zeneca ve Eli Lilly sadece operasyonel veya sadece çevresel performans açısından etkin şirketler arasında yer almamasına rağmen bütünleşik performans açısından etkinliği sağlamışlardır. Bütünleşik performans açısından Gen İlaç dışındaki tüm etkin şirketlerin çevresel değişkenlerden ziyade operasyonel değişkenler aracılığıyla etkinliği sağladığına dikkat çekmek gerekmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Faaliyet ve sürdürülebilirlik raporuna erişilebilen, Türkiye'deki ilaç üreticilerini de kapsayacak şekilde yerel ve küresel şirketlerin etkinliklerinin değerlendirildiği bu çalışma, ilgili şirketlerin en güncel (2022 yılı) verilerine dayanmaktadır. Şirket etkinlik sonuçları, çalışma kapsamında dikkate alınan operasyonel ve çevresel

değişkenler çerçevesinde elde edilmiştir. Olabildiğince fazla ilaç şirketinin faaliyet ve sürdürülebilirlik raporlarına ulaşılabilmesi, raporlarda ilgili değişkenlere erişmeye çalışarak verilerin düzenlenmesi, çalışmanın zorluğunu artırırken daha genellenebilir sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

Calciolari vd. (2024) aksini iddia etse bile, dünyanın en büyük ilaç şirketlerinden çalışma kapsamındakilerin çoğunluğu sürdürülebilirlik raporu yayınlamakta ve nispeten çevresel göstergeleri açıklamaktadır. Fakat Türkiye'deki ilaç üreticilerinden sadece dört şirketin (Abdi İbrahim İlaç Sanayi ve Tic. A.Ş., Deva Holding, Gen İlaç ve Sağlık Ürünleri San. ve Tic. A.Ş., Eczacıbaşı İlaç Sinai ve Finansal Yatırımlar) sürdürülebilirlik raporu yayınladığı ve fakat raporlarda tüm çevresel göstergelere yer verilmediğini belirtmek gerekmektedir (Abdi İbrahim İlaç Sanayi ve Tic. A.Ş., Deva Holding). Bu açıdan yerel sektör ve pazarın sürdürülebilirlik yöneliminin henüz yetersiz olduğu söylenebilir; çevresel göstergelerin kaydı ve kontrolü ile ilgili problemleri gündeme getirmekte buna yönelik çabaların ve hatta kontrollerin artırılması gerekliliğini düşündürmektedir. Buna ilişkin iyileştirmeler şirketler ve yerel yönetimler için sürdürülebilirliğe atılacak adımları hızlandıracaktır.

Yerel şirketlerin de aralarında bulunduğu 11 ilaç şirketi operasyonel olarak etkinliği sağlamıştır. Bosa İstanbul'da faaliyet gösteren şirketlerin değerlendirildiği Gülençer ve Hazar (2020)'in çalışma sonuçlarına göre Deva Holding ve Eczacıbaşı İlaç finansal performansı en yüksek şirketlerdir. Küresel şirketler açısından etkin (Gilead Sciences, Johnson&Johnson vb.) ve etkin olmayan (AstraZeneca, Biogen vb.) şirketler; üretim ve inovasyon faaliyetlerine ilişkin etkinliği araştıran Gascon vd.(2017)'nin çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Fakat Burke (2024) ve Christel (2023)'in en yüksek kazanç ve satış miktarına sahip ilk on şirket arasında yer alan Sanofi, Astrazeneca, Novartis ve GSK şirketleri bu çalışmada operasyonel etkinliği sağlayamamıştır. Özellikle ilk sırada yer alan (Burke, 2024; Christel, 2023) Pfrizer şirketinin operasyonel veya çevresel etkinliği sağlayamaması en iyi veya en büyük şirket sıralamalarına ilişkin tartışmaları gündeme getirebilir.

İlaç şirketlerinin operasyonel ve çevresel etkinlikleri paralellikten uzak bir seyir takip etmektedir. Çevresel etkinliklerinin operasyonel etkinliğe göre oldukça düşük olması önemli bir sonuç olup; sektörün çevre konusundaki düşük farkındalığını göstermektedir. Bu nedenle ilaç şirketlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik yatırım ve stratejilerini artırmaları gerektiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Japonya'daki ilaç ve kimya şirketlerinin operasyonel ve çevresel etkinliğini (2007-2010 yılları için) değerlendiren Sueyoshi vd. (2014)'nin çalışmasında Takeda şirketi etkin; Daiichi Sankyo şirketi ise etkin olmayan kümede yer almaktadır. Daha güncel verilere dayanan bu çalışmada her iki şirketin operasyonel, çevresel ve bütünsel etkinliği sağlayamadığı dikkat çekmektedir.

Türkiye ilaç üreticilerinden Gen İlaç; operasyonel, çevresel ve bütünsel performans açısından etkin tek şirkettir. Deva Holding'in de çevresel etkinliği yüksek ilk üç şirket arasında yer alması ulusal üretim açısından sevindirici olup umut vadetmektedir. Bu şirketler, büyümekte olan Türk ilaç sektörü ve hatta diğer sektörlerde sürdürülebilirlik yolunda rehber olabilecektir. Daha fazla yerel şirketin daha yoğun çevresel farkındalığa sahip olması küresel rekabet güçlerini de artıracaktır.

Halka açık ve birincil verilerle analizlerin gerçekleştirildiği çalışmanın objektif değerlendirme sonuçları sağladığı, elde edilen sonuçların şirket yönetimlerine güçlü ve zayıf yönlerinin tespiti için geri bildirim niteliği taşıdığı düşünülmektedir. Bu açıdan operasyonel ve/veya çevresel stratejilerinin belirlenmesinde ve karar süreçlerinde dikkat çekilmesi gereken konulara içgörü sağlayabilir. Tüm dünyanın gündeminde yer alan çevresel farkındalığa ve bu yöndeki motivasyona ışık tutması umulan bu çalışma daha fazla ilaç şirketinin dahil edileceği; farklı operasyonel, çevresel ve hatta sürdürülebilirliğin sosyal ve ekonomik boyutlarının da dikkate alınacağı araştırmalar için merak uyandırabilir. Gelecekte, şirketlerin tek dönem yerine farklı dönemlerdeki etkinliklerinin incelenmesi, sektörün ve şirketlerin performans gelişim trendine ilişkin önemli sonuçlar verecektir. Geleneksel VZA yerine istenmeyen değişkenler açısından gevşek tabanlı model vb. kullanılması ve sonuçların karşılaştırılması yöntem açısından da içgörü sağlayacaktır.

Kaynaklar

- ACCC (Australia Competition and Consumer Commission). (2024). Environmental and sustainability claims. www.accc.gov.au/business/advertising-and-promotions/environmental-and-sustainability-claims.
- Al-Refaie, A., Ghaleb Abbasi, G., Al-Hawadi, A. (2023). DEA Efficiency Assessment of Packaging Lines in a Pharmaceutical Industry. *Eng. Lett*, 31, 1241-1249.
- Al-Refaie, A., Wu, C. W., Sawalheh, M. (2019). DEA Window Analysis for Assessing Efficiency of Blistering Process in a Pharmaceutical Industry. *Neural Computing and Applications*, 31, 3703-3717.

- Antoun Netto, S. O., Fortunato, B. Q., Bonato, A. G. (2022). Integrating Qualitative and Quantitative Methods to evaluate performance of the Brazilian network for Continuous Global Navigation Satellite System (GNSS) Monitoring (RBMC). *Anuário do Instituto de Geociências*, 45, 1-14.
- Ayçin, E. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme- Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Azad, M.A.K., Munisamy, S., Teng, K. K., Talib, M. B. A., Saona, P. (2018). Productivity Changes of Pharmaceutical Industry in Bangladesh: Does Process Patent Matter? *Global Business Review*, 19(4), 1013-1025.
- Bade, C., Olsacher, A., Boehme, P., Truebel, H., Bürger, L., Fehring, L. (2024). Sustainability in the Pharmaceutical Industry-An Assessment of Sustainability Maturity and Effects of Sustainability Measure Implementation on Supply Chain Security. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(1), 224-242.
- Balaban Salı, J. (2018). Verilerin Toplanması, *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri*, Editör: A. Şimşek, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir, 134-161.
- Bastani, M., Ketabi, S., Maddahi, R., Ahari, R. M. (2021). Data Envelopment Analysis in the Presence of Correlated Evaluation Variables. *Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering*, 15(3).
- Burke, H. (30 July 2024). Who Are the Top 10 Pharmaceutical Companies in the World? www.proclinical.com/blogs/2023-7/the-top-10-pharmaceutical-companies-in-the-world-2023.
- Calciolari, S., Cesarini, M., Ruberti, M. (2024). Sustainability Disclosure in the Pharmaceutical and Chemical Industries: Results from Bibliometric Analysis and AI-Based Comparison of Financial Reports. *Journal of Cleaner Production*, 447, 141511.
- Chorfi, Z., Berrado, A., Benabbou, L. (2019, March). A Three Stage DEA Approach for Evaluating the Performance of Supply Chains: Case Study of Public Pharmaceutical Products Supply Chains in Morocco. In *9th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (5-7 march 2019).
- Christel, M. (June 2023). The Race Forward. *Pharm Executive*, Vol:43, Iss: 6, 16-21.
- Cui, Y., Chu, S. (2023). Study on Carbon Emission Efficiency Evaluation and Influencing Factors of Chinese Pharmaceutical Manufacturing Industry. *Pharmacology & Pharmacy*, 14(4), 98-111.
- Çalışkan, A.Ö. (2012). Sürdürülebilirlik Raporlaması. *Journal of Accounting and Taxation Studies*, 5(1), 41-68.
- Diaz, R. F., Sanchez-Robles, B. (2020). Non-Parametric Analysis of Efficiency: An Application to the Pharmaceutical Industry. *Mathematics*, 8(9), 1522.
- Diaz, R. F., Sanchez-Robles, B. (2023). Outsourcing of Research and Development and Efficiency: a DEA Non-Parametric Analysis of the Contract Research Organisations Industry. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3).
- Doraisamy, S. M., Azad, A. K. (2014). Efficiency Measurement of Pharmaceutical Industry using the Malmquist Total Productivity Index. *Proceedings of the 12th International Conference of DEA*, 14-17 Apr, Kuala Lumpur.
- Dönmez, N., Taşkın, T. (2023). İşletmelerin Çevresel Duyarlılıklarının Sürdürülebilirlik Raporlarına Yansıma Düzeyi: İlaç Endüstrisinde Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlarının İçerik Analizi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (75), 221-241.
- Drucker, P.F. (1963). Managing for Business Effectiveness. *Harvard Business Review*, 41, 53- 60. www.hbr.org/1963/05/managing-for-business-effectiveness.
- Eckford, C. (2023). European pharmaceutical review. www.europeanpharmaceuticalreview.com/news/183076/big-pharma-inventory-management-trends-revealed/.
- Ekiz Bozdemir, M. K., Avcı, S., Akman, G. (2024). Veri Zarflama Analizinde İstenmeyen Girdi/Çıktıya Sahip Tüm Birimler İçin Çevresel Etkinlik Değerlendirilmesine Yeni Bir Model Önerisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(4), 2435-2446.

- Eskandari, M., Hamid, M., Masoudian, M., Rabbani, M. (2022). An Integrated Lean Production-Sustainability Framework for Evaluation and Improvement of the Performance of Pharmaceutical Factory. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134132.
- Feroz, E. H., Goel, S., Raab, R. L. (2008). Performance Measurement for Accountability in Corporate Governance: A Data Envelopment Analysis Approach. *Review of Accounting and Finance*, 7(2), 121-130.
- Fukuyama, H., Matousek, R., Tzeremes, Nickolaos G. (2023). Estimating the Degree of Firms' Input Market Power via Data Envelopment Analysis: Evidence from the Global Biotechnology and Pharmaceutical Industry. *European Journal of Operational Research, Elsevier*, 305(2), 946-960.
- Gaebert, T., Staňková, M. (2020). Efficiency Development in the German Pharmaceutical Market. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 68, 5, 877-884.
- Gascon, F., Lozano, J., Ponte, B., de la Fuente, D. (2017). Measuring the Efficiency of Large Pharmaceutical Companies: An Industry Analysis. *The European Journal of Health Economics*, 18, 587-608.
- Goyal, J., Kaur, H. (2017-a). Operational Efficiency and Related Technological Aspects of Indian Pharmaceutical Industry: A Data Envelopment Analysis Approach. *Arthavaan*, 2(1), 1-10.
- Goyal, J., Kaur, H. (2017-b). Assessing the Financial Efficiency in Indian Pharmaceutical Industry: An Application of Data Envelopment Analysis. *International Journal of Business Management*, 7(2), 47-62.
- Habibifar, N., Hamid, M., Nasiri, M. M. (2019). Concurrent optimization of Integrated Macro-Ergonomics and Resilience Engineering in a Pharmaceutical Manufacturer. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12(3), 269-282.
- Hanggraeni, D. (2014). Analysis the Efficiency and Productivity of Indonesian Pharmaceutical Public Companies Using Data Envelopment Analysis. *The Indonesian Capital Market Review*, 6(2), 4.
- Hashimoto, A., Haneda, S. (2008). Measuring the Change in R&D Efficiency of the Japanese Pharmaceutical Industry. *Research Policy*, 37, 1829-1836.
- Haşiloğlu, S. B., Hasiloglu Ciftciler, M. (2023). What Should be the Measure of Conformity to Normal Distribution (Normality) Test in Likert Type Digital and Face-To-Face Survey Data? *İnternet Uygulamaları Ve Yönetimi Dergisi*, 14(2), 54-69.
- Haynes, K.E., Dinc, M. (2005). Data Envelopment Analysis (DEA), *Encyclopedia of Social Measurement*, 609-616.
- Hilmola, O. (2020). Role of Inventory and Assets in Shareholder Value Creation. *Expert Systems with Applications*, 5, 100027.
- IQVIA. (2023). Türkiye İlaç Sektörü Raporu (Araştırmacı İlaç Firmaları Derneği-AIFD ve Avrupa İlaç Endüstrileri ve Birlikleri Federasyonu (EFPIA) sponsorluğunda). www.aifd.org.tr/wp-content/uploads/2023/12/IQVIA_TURKIYE-ILAC-SEKTORU_RAPORU_.pdf.
- Jahanshahloo, G.R., Hosseinzadeh Lotfi, F., Shoja, N., Tohidi, G., Razavyan, S. (2005). Undesirable Inputs and Outputs in DEA Models, *Applied Mathematics and Computation*, 169, 2, 917-925.
- Karami, A., Shirouyehzad, H., Asadpour, M. (2021). A DEA-Based Decision Support Framework for Organizations' Performance Evaluation Considering TQM and Knowledge Management. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021(1), 6654600.
- Kecek, G. 2010. *Veri Zarflama Analizi-Teori ve Uygulama Örneği*, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Kourtis, E., Kourtis, M., Curtis, P., Hantias, M. (2022). Sustainable Business Growth, Value Creation and Dynamic Competitive Advantage: The Greek Pharmaceutical Industry. *European Research Studies Journal*, 2, 46-79.
- Le, M. H., Lu, W. M. (2022). An Integrated Multiple Objective Decision Making Approach for Exploring The Competitiveness of Pharmaceutical Multinational Enterprises. *Annals of Operations Research*, 1-26.
- Lewis, H. F., Sexton, T. R. (2004). Data Envelopment Analysis with Reverse Inputs and Outputs. *Journal of Productivity Analysis*, 21(2), 113-132.

- Lieberman, M., Dhawan, R. (2005). Assessing the Resource Base of Japanese and US Auto Producers: A Stochastic Frontier Production Function Approach. *Inst Operations Research Management Sciences*, 51(7), 1060-1075.
- Lin, T.X., Wu, Z., Ji, X., Yang, J. (2021). Research on the Operating Efficiency of Chinese Listed Pharmaceutical Companies Based on Two-Stage Network DEA And Malmquist. *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi, 2021, 1-18.
- Liu, W. B., Meng, W., Li, X. X., Zhang, D. Q. (2010). DEA Models with Undesirable Inputs and Outputs. *Annals of Operations Research*, 173, 177-194.
- Lopez-Toro, A. A., Sánchez-Teba, E. M., Benítez-Márquez, M. D., Rodríguez-Fernández, M. (2021). Influence of ESGC Indicators on Financial Performance of Listed Pharmaceutical Companies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4556.
- Lovell, C. K., Pastor, J. T., Turner, J. A. (1995). Measuring Macroeconomic Performance in the OECD: A comparison of European and Non-European Countries. *European journal of operational research*, 87(3), 507-518.
- Mahajan, V., Nauriyal, D. K., Singh, S. P. (2018). Efficiency and Its Determinants: Panel Data Evidence from the Indian Pharmaceutical Industry. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 12(1), 19-40.
- Majumdar, S. K. (1994). Assessing Firms' Capabilities: Theory and Measurement: a Study of Indian Pharmaceutical Industry. *Economic and Political Weekly*, 83-89.
- Malhotra, R., Malhotra, D. K. (2015). Analyzing the Performance of Pharmaceutical Firms Using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Management Research*, 6-1, 33-47.
- Miettinen, M., Khan, S. A. (2022). Pharmaceutical Pollution: A Weakly Regulated Global Environmental Risk. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 31(1), 75-88.
- Mirmozaffari, M., Yazdani, R., Shadkam, E., Khalili, S. M., Mahjoob, M., Boskabadi, A. (2022). An Integrated Artificial Intelligence Model for Efficiency Assessment in Pharmaceutical Companies During the COVID-19 Pandemic. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 156-167.
- Mohammadian, I., Rezaee, M.J. (2020). A New Decomposition and Interpretation of Hicks-Moorsteen Productivity Index for Analysis of Stock Exchange Companies: Case Study on Pharmaceutical Industry. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69.
- Monzeli, A., Daneshian, B., Tohidi, G., Sanei, M., Razavian, S. (2020). Efficiency Study with Undesirable Inputs and Outputs in DEA. *Journal of Fuzzy Extension and Applications*, 1(1), 73-80.
- Moosivand, A., Ghatari, A. R., Rasekh, H. R. (2019). Supply Chain Challenges in Pharmaceutical Manufacturing Companies: Using Qualitative System Dynamics Methodology. *Iranian journal of pharmaceutical research*, 18(2), 1103.
- Muller, M. (2011). *Essentials of Inventory Management* (2nd ed.). AMACOM Division of American Management Association International. www.jstor.org/stable/j.ctt1d2qzgt.
- OECD iLibrary, (2020) Trade in Counterfeit Pharmaceutical Products-Industry Overview. www.oecd-ilibrary.org/sites/c880184e-en/index.html?itemId=/content/component/c880184e-en.
- Özbek, A. (2019). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü-Kavram Teori Uygulama*. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Özçakar, N. (2024). Üretim ve Operasyon Yönetimi, www.ansiklopedi.tubitak.gov.tr/ansiklopedi/uretim_ve_operasyon_yonetimi.
- Özdamar, K. (2004). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi* (Genişletilmiş 5. Baskı), Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- Özden, Ü. (2008). Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37(2), 167-185.
- Özkan, T. (2019). Türk Bankacılık Sisteminde Veri Zarflama Tekniği İle Banka Etkinliğinin Ölçülmesi. *Third Sector Social Economic Review*, 54(3), 1511-1529.

- Pal, D., Chakraborty, C., Ghose, A. 2018. Is There Improvement in Total Factor Productivity Growth of the Indian Pharmaceutical Industry after TRIPS Agreement? Evidence from Biennial Malmquist Index. *The Central European Review of Economics and Management*, 2(3), 55-80.
- Peykani, P., Seyed Esmaeili, F. S., Mirmozaffari, M., Jabbarzadeh, A., Khamechian, M. (2022). Input/Output Variables Selection in Data Envelopment Analysis: A Shannon Entropy Approach. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 4(3), 688-699.
- Rao, C.M., Rao, K.P. (2009). Inventory Turnover Ratio as a Supply Chain Performance Measure. *Serbian Journal of Management*, 4(1), 41-50.
- Rosenmayer, T. (2014). Using Data Envelopment Analysis: A Case of Universities. *Review of Economic Perspectives*, 14(1), 34-54.
- Salehi, V., Salehi, R., Mirzayi, M., Akhavizadegan, F. (2020). Performance Optimization of Pharmaceutical Supply Chain by a Unique Resilience Engineering and Fuzzy Mathematical Framework. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 30(5), 336-348.
- Saranga, H., Phani, B.V. (2009). Determinants of Operational Efficiencies in the Indian Pharmaceutical Industry. *International Transactions in Operational Research*, 16(1), 109-130.
- Scheel, H. (2001). Undesirable Outputs in Efficiency Valuations. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 400-410.
- Schwarz, J. O. (2008). Assessing the Future of Futures Studies in Management. *Futures*, 40(3), 237-246.
- Shi, M., Qu, S., Ji, Y., Peng, Z. (2024). Measuring of Environment Efficiency of Pharmaceutical Companies: Robust Game Cross-Efficiency Data Envelope Analysis Model. *Managerial and Decision Economics*, 45(4), 1984-1999.
- Sueyoshi, T., Goto, M. (2014). DEA Radial Measurement for Environmental Assessment: A Comparative Study between Japanese Chemical and Pharmaceutical Firms. *Applied Energy*, 115, 502-513.
- Tarı, R., & Sezer, F. (2017). İstenen ve istenmeyen Çıktılarla Etkinlik Analizi: Kocaeli Gıda Sanayii Firmaları Örneği. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (34), 1-18.
- The Environmental Impact of the Pharma Sector. (06 June 2022). www.forvismazars.us/forsights/2022/06/the-environmental-impact-of-the-pharma-sector.
- Tsolas, I.E. (2021). Firm Credit Scoring: a Series Two-Stage DEA Bootstrapped Approach. *J. Risk Financial Manag.* 14, 214.
- Uthayakumar, R., Priyan, S. (2013). Pharmaceutical supply chain and Inventory Management Strategies: Optimization for a Pharmaceutical Company and A Hospital. *Operations Research for Health Care*, 2(3), 52-64.
- Wang, C. N., Nguyen, P. H., Nguyen, T. L., Nguyen, T. G., Nguyen, D. T., Tran, T. H., ... & Phung, H. T. (2022). A Two-Stage DEA Approach to Measure Operational Efficiency in Vietnam's Port Industry. *Mathematics*, 10(9), 1385.
- Wick, A., Strazovska, L. (2020). Strategy of Multi-Channel Marketing as a Success Factor for the Pharmaceutical Market, *Humanum Międzynarodowe Studia Społeczno-Humanistyczne*, 36 (1), 173-178.
- Xu, M., Tan, R. (2022). How to Reduce CO2 Emissions in Pharmaceutical Industry of China: Evidence from Total-Factor Carbon Emissions Performance. *Journal of Cleaner Production*, 130505.
- Yürüşen, S. (2011). “Veri Zarflama Analizi İle Bayi Performanslarının Hesaplanması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama”, Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı.

Research Article

Operasyonel ve Çevresel Etkinliğin Değerlendirilmesinde Veri Zarflama Analizi (VZA): İlaç Sektörü

Data Envelopment Analysis (DEA) in Evaluating Operational and Environmental Efficiency: Pharmaceutical Industry

Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ

Dr.Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi

esra.yildirim@dpu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-4690-9298>

Extended Summary

Introduction

Performance management and monitoring are essential and priority business processes under intense national and global competitive pressure. While evaluating and managing performance in businesses allows quantitative or qualitative determination of the outcome of a purposeful and planned activity and/or the degree of achievement of goals (Kecek, 2010), it aims to manage all operations perfectly and achieve competitive advantage (Wang et al., 2022). Drucker (1963), who argues that one of the most critical dimensions of business performance is efficiency, states that a business should evaluate its performance with efficiency because a relatively small improvement in efficiency will lead to a significant increase in economic effectiveness. Efficiency is the key to competitiveness, continuity, and durability (Kourtis et al., 2022). This study aims to evaluate the operational and environmental activities of local and global companies operating in the pharmaceutical sector. It utilizes the Data Envelopment Analysis (DEA) method, which is stated to be one of the most potent methods (Rosenmayer, 2014). In addition to its importance in terms of industrial activities, the pharmaceutical sector, which is of vital importance in terms of society, encounters operational and economic problems such as reducing production costs, ensuring flexibility, safe production, and compliance with quality standards (Eskandari et al., 2022).

Eckford (2023) states that one of the most critical problems and sources of concern in the pharmaceutical sector is the contradiction between high amounts of stock waste and the shortage of medicines in the world. Similarly, Uthayakumar and Priyan (2013) and Moosivand et al. (2019) emphasize that the pharmaceutical sector holds high amounts of stock; these stocks increase operating costs. On the other hand, one of the biggest problems faced by the dynamic industry and even proven (Bade et al., 2024; Miettinen et al., 2021) is the environmental waste generated during the production and consumption phase, the destructive effect of medicines and their packaging on the environment and the health of living things (Dönmez and Taşkın, 2023); This study is motivated by this.

Variables and Method

Studies in the literature on the pharmaceutical sector are limited to pharmaceutical companies in the same region or country and are concentrated on the local sample scale (Mahajan et al., 2018; Kourtis et al., 2022). Stating that there are still limited studies in the sector-specific literature regarding environmental effectiveness, Xu and Tan (2022) emphasize that research on pharmaceutical companies should be increased due to their importance in ensuring the balance between industrial activities and environmental protection. It is stated that the sector is far from being green in terms of high emissions and persistent pharmaceutical waste that threatens the lives of living things (www.forvismazars.us). In terms of operational performance, the variables in the limited study in the literature (Lin et al., 2021) are similar to the variables in the studies evaluating the general performance of the company (Doraisamy and Azad, 2014; Feroz et al., 2008; Gascon et al., 2017). Within the

framework of the gaps in the literature and the problems experienced in the sector, this study mainly focuses on The questions “What is the operational and environmental efficiency status of the world’s leading pharmaceutical companies?” and “What is the efficiency status of pharmaceutical companies in Türkiye among other companies?” are being answered.

This study used Data Envelopment Analysis (DEA), which is popular in many sectors where efficiency measurement problems are encountered (Lewis and Sexton, 2004), to evaluate operational efficiency, average raw material and in-process inventory costs, R&D expenditures, number of employees, sales revenues (Saranga and Phani, 2009; Lin et al., 2021) variables were taken into account; and to evaluate environmental efficiency, water consumption (Shi et al., 2023), energy consumption (Xu and Tan, 2022), waste (Eskandari et al., 2022) and emission release (Shi et al., 2023; Sueyoshi and Goto, 2014) variables were taken into account. The study sample consists of twenty-seven pharmaceutical companies that publish activity and sustainability reports and include relevant operational-environmental variable data in these reports. This study used the VRS model of DEA because it evaluated the pure efficiencies of companies of different sizes and also because the importance of scale effects in the pharmaceutical industry should be considered (Gascon et al., 2017). The analysis of the most up-to-date (2022) data published by all companies was done in the DEAP (Version 2.1) program.

Empirical Findings

Eleven pharmaceutical companies provide efficiency according to the operational performance results evaluated based on two input variables (R&D expenditures, average raw material, and in-process inventory costs) and one output variable (sales revenues). Although they do not show superior operational performance, Pfizer, Amgen, and Eli Lilly are the companies closest to efficiency. The companies with the lowest operational performance are Takeda and CSL. According to Burke (2024) and Christel (2023), Sanofi, AstraZeneca, Novartis, and GSK, which are among the top ten companies with the highest earnings and sales, could bring up discussions on the rankings of the best or largest companies in this study. Local pharmaceutical companies (Deva Holding, Eis Eczacıbaşı İlaç, Gen İlaç) are among the operationally effective companies.

The fact that the average efficiency values regarding environmental performance evaluated based on two input variables (energy consumption amount and water consumption amount) and two output variables (emission release amount and waste amount) are lower than the average operational efficiency values indicates that sufficient attention is not paid to environmental factors in the activities of pharmaceutical companies. The fact that the local pharmaceutical company Gen İlaç is the only company with environmental efficiency according to input and output-focused models is among the remarkable results. The first three companies closest to efficiency in terms of environmental performance are Moderna, Deva Holding, and Organon.

According to the integrated efficiency results, where the companies' operational and environmental performance variables are combined, thirteen out of twenty-seven pharmaceutical companies are efficient. The companies' performances in input variables are relatively higher than in output. Although Amgen is not in the efficient companies cluster, they have performed above the average efficiency value. Tekada in the input-focused model and Pfrizer in the output-focused model are the companies with the lowest performance. Local companies (Deva Holding, Eis Eczacıbaşı İlaç, Gen İlaç) are in the efficient companies cluster in terms of integrated performance.

One of the most striking results of the study is the difference in the companies' operational and environmental efficiency status. The fact that their environmental efficiency is considerably low compared to their operational efficiency indicates the sector's low awareness of the environment. Therefore, pharmaceutical companies must increase their investments and strategies to reduce environmental impacts. It should be noted that only four companies (Abdi İbrahim İlaç Sanayi ve Tic A.Ş., Deva Holding, Gen İlaç ve Sağlık Ürünleri San. ve Tic. A.Ş., Eczacıbaşı İlaç Sinai and Finansal Yatırımlar) among the pharmaceutical manufacturers in Türkiye have published sustainability reports. Still, the reports do not include all environmental indicators. In this respect, it can be said that the sustainability orientation of the local sector and market is still insufficient. At the same time, it brings up problems regarding recording and controlling environmental indicators, suggesting the need to increase efforts and even controls in this direction. Improvements in this regard will accelerate the steps towards sustainability for companies and local governments. However, Gen İlaç is the only effective company in terms of operational, environmental, and integrated performance among the local companies. The fact that Deva Holding is among the top three companies with high environmental efficiency is pleasing and promising in national production. These companies can guide the growing Turkish pharmaceutical sector and even other sectors in terms of sustainability.

Conclusion

This study, which evaluates the activities of local and global companies, including pharmaceutical manufacturers in Türkiye, whose activity and sustainability reports can be accessed, is based on 2022 data. It is limited to the operational and environmental variables taken into account. It is thought that the study, which performs analyses with publicly available and primary data, provides objective evaluation results, and the results obtained serve as feedback to the management mechanism to determine the strengths and weaknesses of the companies. This study, which is expected to shed light on the environmental awareness and motivation in this direction, which is on the agenda of the whole world, may arouse curiosity for research that will include more pharmaceutical companies and take into account different operational, environmental and even social and economic dimensions of sustainability. In the future, examining the activities of companies in different periods instead of a single period will yield significant results regarding the performance development trend of the sector.