

Türkiye Otomotiv Endüstrisinde Şirket Bazlı Üretim Fonksiyonunun Etkinlik Analizi: TOFAŞ ve Ford Otosan Örneği

Analysis of the Effectiveness of Company-Based Production Functions in the Turkish Automotive Industry: The Case of TOFAŞ and Ford Otosan

Onur AKKAYA, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Türkiye, onurakkaya@kilis.edu.tr

Orcid No: 0000-0003-2694-9073

Abdurrahim HOCAGİL, OSTİM Teknik Üniversitesi, Türkiye, abdurrahim.hocagil@ostimteknik.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-5734-6526

Öz: Bu çalışma, Türkiye otomotiv endüstrisinde şirket bazlı üretim fonksiyonlarının verimliliğini değerlendirmek amacıyla Veri Zarflama Analizi (DEA) ve Stokastik Sınır Analizi (SFA) yöntemlerini kullanmaktadır. TOFAŞ ve Ford Otosan örnekleri üzerinden 2011–2023 dönemine ait firma bazlı girdi-çıktı verileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, TOFAŞ'ın genel olarak yüksek verimlilik ve optimum ölçek etkinliği sergilediğini, Ford Otosan'ın ise belirli dönemlerde verimlilik dalgalanmaları yaşadığını ortaya koymaktadır. Çalışma, otomotiv sektöründeki rekabetçi üretim süreçlerine ışık tutarken, gelecekte genişletilmiş sektörel karşılaştırmalar ve dijital dönüşüm ile sürdürülebilirlik unsurlarının entegrasyonu gibi araştırma alanlarına yönelik öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye Otomotiv Endüstrisi, Veri Zarflama, Etkinlik, Verimlilik.

JEL Sınıflandırması: C67, D24, L62

Abstract: This study employs Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Approach (SFA) to evaluate company-level production functions within the Turkish automotive industry. Using firm-level input–output data from 2011 to 2023 for TOFAŞ and Ford Otosan with efficiency and scale performance being measured and compared. The results indicate that TOFAŞ generally demonstrates high efficiency and optimal scale performance, whereas Ford Otosan experiences fluctuations in efficiency during certain periods. The study sheds light on the competitive production processes in the automotive sector and offers suggestions for future research, including broader sectoral comparisons and the integration of digital transformation and sustainability factors.

Keywords: Turkish Automotive Industry, Data Envelopment Analysis, Productivity, Efficiency.

JEL Classification: C67, D24, L62

1.Giriş

Türkiye ekonomisinin en stratejik üretim alanlarından biri olan otomotiv sektörü hem ihracat hem de istihdam açısından ülkenin büyüme dinamiklerini şekillendiren temel bir sanayi koludur. 2023 yılı itibarıyla otomotiv sektörü, Türkiye'nin toplam ihracatının yaklaşık %15'ini oluşturarak ülkenin en yüksek ihracat payına sahip sektör konumundadır (OİB, 2024). Türkiye, Avrupa'nın altıncı, dünyanın ise on dördüncü en büyük motorlu araç üreticisidir. Bu üretim kapasitesi, 2023 yılı itibarıyla yıllık yaklaşık 1,4 milyon araç seviyesine ulaşmış; bunun %70'inden fazlası ihraç edilmiştir. Dolayısıyla otomotiv sektörü, yalnızca iç talebi karşılayan bir üretim alanı değil, aynı zamanda Türkiye'nin küresel tedarik zincirlerine entegre olmuş rekabetçi bir ihracat üssü niteliğindedir. Sektörün ekonomik

Makale Geçmişi / Article History

Başvuru Tarihi / Date of Application : 24 Temmuz / July 2025

Kabul Tarihi / Acceptance Date : 23 Mart / March 2026

© 2025 Journal of Yaşar University. Published by Yaşar University. Journal of Yaşar University is an open access journal.

önemine paralel olarak, otomotiv endüstrisi Türkiye’de doğrudan 60 bini aşkın kişiye istihdam sağlarken, yan sanayi ve tedarik zinciri ile birlikte bu sayı 500 bini aşmaktadır. Sektörün Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) içindeki payı %4 civarında olup, imalat sanayi katma değerinin %15’ine yakını otomotiv üretiminden gelmektedir. Bu göstergeler, sektörün Türkiye’nin sanayileşme sürecinde ve küresel rekabet konumunun güçlendirilmesinde stratejik bir rol üstlendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Türk otomotiv endüstrisinin rekabet yapısı oligopol niteliklidir; üretimin büyük kısmı sınırlı sayıda büyük üretici tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda TOFAŞ ve Ford Otosan, sektörün en belirleyici iki aktörüdür. Bu iki firma, birlikte Türkiye’deki toplam araç üretiminin %55–%75’ini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, her iki şirketin üretim ve ihracat politikaları, sektör genelindeki teknolojik dönüşüm, dijitalleşme ve verimlilik eğilimlerini temsil etmektedir. TOFAŞ, özellikle iç pazar ve Avrupa ihracat pazarlarında yüksek hacimli üretim kapasitesi ile öne çıkarken; Ford Otosan, ticari araç segmentinde Avrupa liderleri arasında yer almakta ve Ar-Ge faaliyetleriyle küresel düzeyde rekabet avantajı sağlamaktadır. Bu çerçevede, Türkiye otomotiv sektöründe verimliliğin firma bazlı analizi, yalnızca işletme düzeyinde performans değerlendirmesi değil, aynı zamanda ülke sanayisinin rekabetçilik yapısının anlaşılması açısından da kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada TOFAŞ ve Ford Otosan’ın üretim fonksiyonları üzerinden yürütülen DEA ve SFA analizleri, Türkiye otomotiv endüstrisinin etkinlik düzeylerini somut biçimde ortaya koymayı hedeflemektedir. Bu çalışma, Türkiye otomotiv endüstrisinin dinamiklerini yansıtan şirket bazlı üretim fonksiyonlarının verimlilik performanslarını ortaya koymak amacıyla, veri zarflama analizi (DEA) ve stokastik sınır analizi (SFA) yöntemleri TOFAŞ ve Ford Otosan örnekleri üzerinden incelemektedir. Otomotiv sektöründe üretim süreçlerinin verimliliği, şirketlerin rekabet gücünü belirlemede ve stratejik karar alma süreçlerinde hayati bir rol oynamaktadır. Çalışmada, şirketlerin üretim süreçlerine ilişkin girdiler (işgücü, sermaye, hammadde, enerji vb.) ile elde edilen çıktılar (üretim hacmi, satış gelirleri, katma değer vb.) güvenilir kaynaklardan toplanarak normalize edilmiş ve sabit getiriler (CRS) ile değişen getiriler (VRS) varsayımları altında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Böylece, her iki firmanın “en iyi uygulama” sınırına ne kadar yakın çalıştığı, ölçek etkinlikleri ve üretim verimlilikleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmeye alınmıştır. Bu yaklaşım, Türkiye otomotiv sektöründeki lider firmaların üretim performansını ölçerken, sektör içi rekabet ve verimlilik artışına yönelik stratejik öneriler geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

2. Literatür Taraması

Veri Zarflama Analizi (VZA), karar verme birimlerinin (KBB) görelî etkinliklerini değerlendirmek için kullanılan doğrusal programlama tabanlı, parametrik olmayan bir yöntemdir (Chen, vd, 2006). VZA, özellikle üretim süreçlerinin verimliliğini ölçmede geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu bağlamda, otomotiv endüstrisinde şirket bazlı üretim fonksiyonlarının etkinliğini belirlemek için kullanılabilir. Konuyla ilgili VZA ve SFA literatürüne baktığımızda;

Çoban ve diğerleri (2018) çalışması, Türkiye imalat sanayisinde üretim verimliliğini ölçmeye yönelik kapsamlı bir analiz yapmaktadır. Çalışma, Türkiye ekonomisinde sektörler arası verimlilik farklılıklarını mikro düzeyde ele alması ve firma temelli üretim süreçlerinin teknik etkinlik yapısını detaylı biçimde incelemesi yapmaktadır. Araştırma, üretim fonksiyonunu parametrik olmayan bir çerçevede değerlendirmiş; böylece firmaların girdilerini ne ölçüde etkin biçimde çıktıya dönüştürdüğünü sektör bazında karşılaştırma imkânı sağlamıştır. Özellikle bölgesel ve sektörel düzeyde üretim performansını belirleyen yapısal faktörleri ön plana çıkarmış ve Türkiye’de sanayi verimliliğinin yalnızca sermaye veya işgücü düzeyine değil, aynı zamanda teknoloji kullanımı, kapasite yönetimi ve organizasyonel yapıya da bağlı olduğunu göstermiştir. Mete ve Belgin (2021) çalışması, üretim süreçlerinin performansını değerlendirirken Veri Zarflama Analizi (DEA) yöntemini yalnızca teknik etkinlik ölçümüyle sınırlı tutmayıp, ölçek ekonomileri ve çevresel faktörlerin üretim performansı üzerindeki etkisini birlikte ele almasıdır. Çalışma, firmaların kaynak kullanım etkinliğini analiz ederken çevresel değişkenleri modele dâhil etmiş; böylece üretim sürecinin yalnızca içsel girdilere değil, dışsal ekonomik koşullara da duyarlılığını göstermiştir. Bu yönüyle, verimlilik analizine çok boyutlu bir bakış kazandırmıştır. Çalışma, Türkiye’de firma düzeyinde üretim verimliliğini incelerken sürdürülebilir büyüme, çevresel etkinlik ve ölçek verimliliği arasındaki ilişkiyi sistematik biçimde ortaya koyan nadir örneklerdendir.

Stokastik Sınır Analizi ve Türk otomotiv sanayi arasında yapılmış çalışmaları incelediğimizde sınırlı sayıda konuya ilişkin spesifik çalışma olduğunu görmekteyiz. Çalmaşur, G. (2016) çalışmada Türkiye otomotiv sektöründe 1992-2012 döneminde 20 firma panel verisi kullanılarak teknik verimlilik düzeyleri SFA ile tahmin edilmiştir. Translog üretim fonksiyonu kullanılmış ve kapasite kullanım oranı, ihracat yoğunluğu, yabancı sermaye oranı gibi etkinsizlik belirleyicileri incelenmiştir. Firma yaşı ile teknik verimlilik arasında negatif ilişki bulunmuştur. Bu çalışma, otomotiv sektöründe doğrudan SFA uygulamasını içermektedir. Günay ve diğerleri (2020) çalışması, Stokastik Sınır Yaklaşımı (SFA) yöntemini kullanarak firmaların teknik etkinlik düzeylerini ölçmekle kalmayıp,

etkinsizlik kaynaklarını belirleyici faktörlerle ilişkilendirmesi ve bu faktörlerin sektörel dinamikler üzerindeki etkilerini analiz etmesidir. Bu yönüyle, yalnızca üretim sınırını tahmin eden klasik SFA uygulamalarının ötesine geçerek, firmaların etkinlik performansını etkileyen yapısal unsurları ekonometrik olarak modellemiştir. Araştırma, Türkiye imalat sanayisini temsil eden geniş bir panel veri seti üzerinden yürütülmüş ve sermaye yoğunluğu, işgücü niteliği, Ar-Ge harcamaları ve dışa açıklık oranı gibi değişkenlerin teknik verimlilik üzerindeki anlamlı etkilerini ortaya koymuştur. Yatırım kararları ve teknoloji adaptasyonu gibi dinamiklerle açıklanabilir bir süreç olarak ele almış; böylece üretim verimliliği analizlerine davranışsal bir boyut kazandırmıştır. Bu yönüyle çalışma, Türkiye’de SFA metodolojisinin uygulamalı kullanımına teorik derinlik kazandırmış ve literatürde etkinsizlik nedenlerinin yapısal analizi bakımından önemli bir referans niteliği taşımaktadır. Taymaz (1997), Türkiye’de motorlu taşıtlar (otomotiv) sektörü de dahil olmak üzere imalat sanayiinde değişken teknik verimlilik ve üretim sınırı tahmin edilmiştir. Teknik değişim ve verimlilik faktörleri tanımlanmış, sektörler arası farklılıklar belirtilmiştir. Otomotiv sektörü özelinde firma düzeyinde detay verilmemiş olsa da, üretim fonksiyonu ve SFA uygulaması açısından referanstır. Hajihassaniasl & Kök (2016), Türkiye imalat sanayiinde farklı ölçeklerdeki firmaların teknoloji farklarını ve ölçek etkisini SFA/metafrontier yaklaşımıyla incelemiştir. Otomotiv sektöründen doğrudan firmalar içermese de, ölçek etkinliği ve teknoloji boşluğunu ölçmek önemlidir. Otomotiv sektöründe doğrudan SFA uygulamaları sınırlı olmakla birlikte Çalmaşur (2016) çalışması doğrudan uygulanabilir bir örnek sunmaktadır. Türkiye bağlamında imalat sanayiinde yapılan SFA/metafrontier çalışmaları, üretim sürecindeki teknoloji farkları, ölçek etkileri, firmalar arası heterojenlik yer alabilecek dinamikleri ortaya koymaktadır.

3. Türkiye’de Otomotiv Sektörü

Türkiye otomotiv sanayisi, 20. yüzyılın başlarından itibaren önemli bir dönüşüm geçirerek küresel otomotiv sektörünün önemli bir aktörü haline gelmiştir. Bu sanayinin temelleri, Cumhuriyet’in ilk yıllarında atılmış olup, başlangıçta yerli otomotiv üretim kapasitesinin oluşturulmasına odaklanılmıştır. İlk yerli otomobil girişimi, 1925 yılında Türk Tayyare ve Motor Anonim Şirketi (TOMTAŞ) ile başlamış, ancak sektörün asıl gelişimi 1950’ler ve 1960’larda hız kazanmıştır (Yasar, 2013). 1954 yılında Willys-Overland araçlarının üretimi için Tuzla’da bir fabrika kurulmuş, 1959’da Otosan fabrikası Ford lisanslı üretime başlamıştır, 1961 yılında Eskişehir’deki Tülomsaş tesislerinde Türkiye’nin ilk yerli otomobili

Devrim üretilmiş, ancak seri üretime geçememiştir. Bununla birlikte, 1966'da Otosan fabrikasında Türkiye'nin ilk seri üretim markası olan Anadolu üretilmeye başlanmıştır.

1960'lı yıllarda Türkiye'de otomotiv montaj sanayisi de şekillenmeye başlamış ve 1980'lerin ortalarına gelindiğinde seri üretim kapasitesine geçilmiştir. Bu dönem, el işçiliğine dayalı üretimden daha yapılandırılmış bir otomotiv sanayisine geçişi simgelerken, küresel entegrasyon ve bölgesel gelişmelerin etkisiyle şekillenmiştir (Paker, 2021). 1990'lı yıllar, Türkiye otomotiv sanayisi için kritik bir dönem olmuştur. Ülke, yabancı otomotiv firmaları için bir üretim merkezi haline gelmeye başlamış ve küresel otomotiv değer zincirine entegre olmuştur. Bu dönüşüm, uluslararası firmalar tarafından Türkiye'de üç büyük otomotiv üretim tesisinin kurulmasıyla hız kazanmıştır (Dolanay, 2021). Bu stratejik yatırımlar, üretim kapasitesini artırmanın yanı sıra Türkiye'yi küresel pazarda rekabetçi bir konuma taşımıştır. Son yıllarda Türkiye otomotiv sanayisi hızlı büyümesini sürdürmüştür. 2023 yılı itibarıyla sektör, %68 büyüme kaydederek tarihi rekor seviyelere ulaşmıştır. Bu büyüme, tedarik zincirindeki iyileştirmeler ve ulaşım altyapısına yapılan stratejik yatırımlarla desteklenmiştir (Burkert, 2024). Sektörün büyümesi, istihdam üzerinde de önemli etkiler yaratmış, doğrudan 56.000'den fazla kişiye iş imkânı sağlarken, dolaylı olarak tüm değer zinciri dikkate alındığında 550.000'den fazla kişiye istihdam yaratmıştır. Türkiye'nin otomotiv sanayisindeki yolculuğu, yerli sanayi politikaları ve küresel ortaklıkların stratejik bir birleşimi olarak değerlendirilebilir. Mütevazı başlangıçlardan, günümüzde küresel otomotiv sanayisine önemli katkılar sunan bir ülke haline gelen Türkiye, stratejik planlamanın, altyapı yatırımlarının ve uluslararası iş birliklerinin önemini gözler önüne sermektedir.

4.Methodoloji ve Veri Seti

Makalemizde, Kamuyu Aydınlatma Platformu (KAP) gibi resmi kaynaklardan elde edilen firma bazlı girdi-çıkıtı verileri kullanılarak, otomotiv sektörü gibi belirli bir alandaki firmaların yıllık verilerinin 2011-2023 arasında toplanması ve örneklem oluşturulması hedeflenmektedir. Seçilen veri seti aralığı ise KAP raporlarının online olarak yayınlandığı yıl bazında başlamıştır. Daha eski yıllara ait KAP raporlarının ulaşılmasında sorun görülmektedir. Üretim sürecinde kullanılan işgücü, sermaye, hammadde ve enerji gibi girdiler ile toplam üretim hacmi, net satışlar gibi çıktılar tanımlanıp normalize edilerek karşılaştırılabilir hale getirilecektir. Verimlilik ve etkinlik analizi için sabit getiriler varsayımına dayalı CCR modeli ile değişen getiriler varsayımına dayalı BCC modeli uygulanacak, her firma için doğrusal programlama teknikleriyle verimlilik skorları hesaplanacaktır. Elde edilen verimlilik skorları, firmaların "en iyi uygulama" sınırını belirleyerek üretim teknolojileri ve ölçek ekonomilerinin

etkisini yansıtan üretim fonksiyonunun tahminlenmesinde kullanılacaktır. DEAP gibi optimizasyon ve istatistiksel yazılımlar kullanılarak veri temizleme, normalleştirme ve analiz süreçleri gerçekleştirilecektir (Tablo.1 ve Tablo.2).

Tablo 1. TOFAŞ A.Ş. Veri Değişkenleri

Değişken Adı	İçeriği	Türü
Toplam Satışlar	Yurtiçi ve Yurtdışı Satış Toplamı	Çıktı
Direkt işçilik giderleri	Direkt işçilik giderleri	Girdi
Diğer üretim giderleri	Diğer üretim giderleri	Girdi
Direkt hammadde ve malzeme giderleri	Direkt hammadde ve malzeme giderleri	Girdi
İtfa payları ve amortisman giderleri	İtfa payları ve amortisman giderleri	Girdi

Tablo 2. FORD-OTOSAN A.Ş. Veri Değişkenleri

Değişken Adı	İçeriği	Türü
Toplam Satışlar	Toplam Satışlar	Çıktı
Direkt işçilik giderleri	Direkt işçilik giderleri	Girdi
İlk madde ve malzeme gideri	İlk madde ve malzeme gideri	Girdi
Malzeme dışı genel üretim giderleri	Malzeme dışı genel üretim giderleri	Girdi
Amortisman giderleri	Amortisman giderleri	Girdi

DEA Yöntemi:

Analiz, ölçüm hatası olmayan veriler ve sektör dinamiklerini yeterince yansıtan model varsayımları altında yapılacak olup, gizli teknolojik bilgilerin ve ölçülmeyen faktörlerin etkisinin analiz kapsamına alınamaması gibi sınırlılıklar dikkate alınacaktır. DEA yöntemi, firmaların verimliliğini non-parametrik bir yaklaşımla ölçmek amacıyla, gözlemlenen girdi ve çıktı verileri kullanılarak oluşturulan "veri zarflama" modelidir. Bu metodolojide, öncelikle ilgili firmaların üretim süreçlerinde kullanılan girdiler (örneğin, işgücü, sermaye, hammadde, enerji) ve elde edilen çıktılar (örneğin, üretim hacmi, net satışlar, katma değer) güvenilir kaynaklardan toplanarak normalize edilir ve karşılaştırılabilir hale getirilir. Ardından, her bir firmanın "en iyi uygulama" sınırını belirlemek amacıyla, sabit getiriler varsayımını esas alan CCR modeli ve değişen getiriler varsayımını kabul eden BCC modeli gibi temel DEA modelleri uygulanır. Bu modeller doğrusal programlama teknikleri kullanılarak çözülmekte ve her firma için 0 ile 1 arasında değişen verimlilik skorları hesaplanmaktadır. Elde edilen

skorlar, firmaların girdileri çıktı düzeyine dönüştürme etkinliğini ortaya koyarken, ek duyarlılık analizleri ve regresyon modelleri ile modelin sağlamlığı test edilmekte, böylece üretim fonksiyonunun firmalar arası farklılıklar ve ölçek ekonomileri açısından yorumlanması sağlanmaktadır. Çalışma içinde elde edilen verilerin kısıtı nedeniyle Türkiye’de faaliyet gösteren iki büyük otomotiv üreticisi firma 2011-2023 dönemi için yıllık veri frekansı üzerinden analiz edilmiştir. Bu iki firmanın (TOFAŞ ve FORD-OTOSAN) endüstri içindeki payı %55-%75¹ arasında değişiklik göstermektedir. Bundan dolayı oligopol yapıda olan Türk otomotiv sektörü için açıklayıcı bir analiz olacağını düşünmekteyiz.

SFA Yöntemi:

Stokastik Sınır Yaklaşımı (SFA), üretim sürecinde firmaların teknik etkinlik düzeylerini tahmin etmek için kullanılan parametrik bir verimlilik analizi yöntemidir. İlk olarak Aigner, Lovell ve Schmidt (1977) tarafından geliştirilen bu yöntem, klasik üretim fonksiyonuna bir hata bileşeni ekleyerek, üretim sürecindeki tesadüfi hataları ve etkinsizlik kaynaklarını birbirinden ayırır. Modelde, üretim fonksiyonu genellikle Cobb-Douglas veya Translog biçiminde tanımlanır ve şu şekilde ifade edilir:

$$Y_i = f(X_i; \beta) \cdot e^{v_i - u_i}$$

Burada Y_i çıktıyı, X_i girdi vektörünü, β tahmin edilecek parametreleri, v_i normal dağılımlı rastgele hata terimini (ölçüm hataları, dışsal şoklar gibi) ve u_i yarı-normal dağılıma sahip etkinsizlik terimini temsil eder. $u_i \geq 0$ koşulu, firmanın üretim sınırının altında faaliyet gösterdiğini ifade eder. SFA, DEA gibi deterministik yöntemlerden farklı olarak veri gürültüsünü ve rastgele faktörleri modele dahil etmesi bakımından avantaj sağlar. Bu özellik, özellikle makroekonomik dalgalanmaların, veri hatalarının veya dışsal etkilerin yoğun olduğu sektörlerde (örneğin otomotiv sanayi) daha gerçekçi etkinlik tahminleri yapılmasına olanak tanır. Modelde teknik etkinlik (TE) değeri şu şekilde hesaplanır.

$$TE_i = e^{-u_i}$$

Bu değer 0 ile 1 arasında olup, 1’e yakın sonuçlar firmanın üretim sınırına yakın çalıştığını gösterir. SFA yönteminin sonuçları, firmaların üretim teknolojilerini, ölçek ekonomilerini ve dışsal faktörlere karşı dayanıklılığını anlamada güçlü bir analitik araç sunar. Modelde üretim fonksiyonu Cobb-Douglas biçiminde tanımlanmıştır:

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(L_i) + \beta_2 \ln(K_i) + \beta_3 \ln(M_i) + v_i - u_i \quad (1)$$

¹Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Türkiye Otomobilciler Derneği (TOD) verilerine göre bahsedilmiştir.

Denklem (1)'e göre tahminlenen CD üretim denkleminde değişkenler şu şekilde tanımlanmıştır.

Y_i : Çıktı (Toplam satışlar veya üretim hacmi)

L_i : İşgücü girdisi

K_i : Sermaye / amortisman giderleri

M_i : Hammadde ve enerji girdileri

v_i : Rastgele hata terimi (normal dağılım)

u_i : Teknik etkinsizlik terimi (yarı-normal dağılım)

5. Analiz Sonuçları

DEA Analiz Sonuçları:

DEAP 2.0 analiz programı kullanılarak DEA yöntemi ile bahsi geçen şirketlerin yıllara göre elde edilen etkinlik değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

TOFAŞ etkinlik değerleri

Tablo 3. TOFAŞ Şirketi Etkinlik Değerleri (2011-2023)

(Çıktı bazlı DEA, VRS ölçek varsayılmıştır)

Yıl	Etkinlik değerleri
2022	1.000
2021	1.000
2020	1.000
2019	1.000
2018	1.000
2017	0.959
2016	0.947
2015	0.984
2014	1.000
2013	1.000
2012	0.991
2011	0.934
Ortalama	0.985

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

(Tablo.3), TOFAŞ'ın 2011–2023 dönemine ait çıktıya dayalı DEA analizi ile elde edilen etkinlik değerlerini göstermektedir. Bu analizde VRS ölçek varsayımı kullanılarak, firmanın

üretim çıktısını optimize etme düzeyi ölçülmüştür. Görüldüğü gibi, 2018, 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarında etkinlik değeri 1.000 olarak belirlenmiş; bu da firmanın bu yıllarda "en iyi uygulama" sınırına ulaştığını göstermektedir. Diğer yıllarda (2011, 2012, 2015, 2016 ve 2017) ise etkinlik değerleri 0.934 ile 0.991 arasında seyretmiş olup, genel ortalama 0.985 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, TOFAŞ'ın genel olarak yüksek düzeyde etkinlik sergilediğini, fakat bazı dönemlerde küçük sapmalar yaşandığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4. TOFAŞ şirketi Yıl Bazlı CRS, VRS getiri ve Ölçek Etkinlik Değerleri²

Yıl	CRSTE	VRSTE	ÖLÇEK ETKİNLİK
2022	1.000	1.000	1.000
2021	1.000	1.000	1.000
2020	1.000	1.000	1.000
2019	1.000	1.000	1.000
2018	1.000	1.000	1.000
2017	0.959	0.975	0.984 (irs)
2016	0.984	1.000	0.984 (irs)
2015	1.000	1.000	1.000
2014	1.000	1.000	1.000
2013	0.991	1.000	0.991 (irs)
2012	0.934	1.000	0.934 (irs)
Ortalama	0.985	0.998	0.987

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

(Tablo.4), TOFAŞ'ın 2011–2022 yılları arasındaki CRS (sabit getiriler varsayımına dayalı verimlilik), VRS (değişen getiriler varsayımına dayalı verimlilik) ve ölçek etkinlik değerlerini göstermektedir. Genel olarak;2014, 2015, 2018, 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarında her iki model için de etkinlik değeri 1.000 olarak belirlenmiş, bu da firmanın hem sabit hem de değişen getiriler varsayımında "en iyi uygulama" sınırında yer aldığını ifade eder. Diğer yıllarda ise CRS değerleri 0.934 ile 0.991 arasında, VRS ise 0.975–1.000 aralığında seyretmektedir. Ölçek etkinliği, CRS ve VRS değerlerinin oranı olarak yorumlanır. 2017, 2016, 2013 ve 2012 yıllarında, ölçek etkinliği değerleri CRS ve VRS arasında fark olduğunu

² (Note: crste = technical efficiency from CRS DEA, vrste = technical efficiency from VRS DEA, scale = scale efficiency = crste/vrste)

göstermekte; özellikle 2012 ve 2017’de değerler 0.934 ve 0.984 olarak kaydedilmiştir. Parantez içindeki “irs” ifadesi, bu yıllarda ölçek verimliliğinde artan getiriler (increasing returns to scale) gözlemlendiğine işaret edebilir. Ortalama değerler (CRS: 0.985, VRS: 0.998, Ölçek Etkinliği: 0.987) TOFAŞ’ın genel olarak yüksek verimlilik ve etkinlik seviyelerine sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, CRS ve ölçek etkinliği değerlerinde gözlenen düşüşler, belirli yıllarda firmanın optimal ölçek düzeyinde tam verimliliğe ulaşamadığını ve ölçek verimliliğinin artan getirilerle karakterize edilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu analiz, TOFAŞ’ın verimlilik performansının hem teknolojik hem de ölçekle ilgili boyutlarını ortaya koyarak, hangi dönemlerde iyileştirme potansiyelinin bulunduğunu değerlendirmek için önemli ipuçları sunmaktadır.

FORD-OTOSAN etkinlik değerleri

Tablo 5. FORD-OTOSAN Şirketi Etkinlik Değerleri (2011-2023)
(Çıktı bazlı DEA, VRS ölçek varsayılmıştır)

Yıl	Etkinlik değerleri
2023	1.000
2022	0.943
2021	1.000
2020	1.000
2019	0.997
2018	0.964
2017	0.973
2016	0.949
2015	0.938
2014	0.908
2013	0.943
2012	0.921
2011	0.953
Ortalama	0.961

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

(Tablo.5), FORD-OTOSAN şirketinin 2011–2023 yılları arasındaki çıktı bazlı DEA analizi yöntemiyle, VRS ölçek varsayımı altında elde edilen etkinlik değerlerini göstermektedir. Analize göre, 2020, 2021 ve 2023 yıllarında etkinlik değeri 1.000 olarak

belirlenmiş; bu, bu yıllarda firmanın “en iyi uygulama” sınırına ulaşarak çıktıları optimum seviyede yönettiğini işaret etmektedir. Diğer yıllarda ise etkinlik değerleri 0.908 ile 0.997 arasında değişmekte olup, özellikle 2014 yılında 0.908 ile en düşük etkinlik değeri gözlemlenmiştir. Genel ortalama 0.961 olan değer, FORD-OTOSAN’ın dönem genelinde yüksek verimlilik sergilediğini, ancak bazı dönemlerde belirli iyileştirmelere açık alanların bulunduğunu göstermektedir. Bu analiz, firmanın zaman içindeki performans dalgalanmalarını ortaya koyarak, stratejik iyileştirme potansiyellerini değerlendirmeye olanak tanımaktadır.

Tablo 6. FORD-OTOSAN şirketi Yıl Bazlı CRS, VRS getiri ve Ölçek Etkinlik Değerleri³

Yıl	CRSTE	VRSTE	ÖLÇEK ETKİNLİK
2023	1.000	1.000	1.000 -
2022	0.943	0.952	0.991(drs)
2021	1.000	1.000	1.000 -
2020	1.000	1.000	1.000 -
2019	0.997	1.000	0.997 (irs)
2018	0.964	1.000	0.964 (irs)
2017	0.973	0.999	0.974 (irs)
2016	0.949	0.978	0.970 (irs)
2015	0.938	0.970	0.967 (irs)
2014	0.908	0.958	0.948 (irs)
2013	0.943	0.998	0.946 (irs)
2012	0.921	1.000	0.921 (irs)
2011	0.953	1.000	0.953 (irs)
Ortalama	0.961	0.989	0.972

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

(Tablo 6), FORD-OTOSAN şirketinin 2011–2023 yılları arasındaki CRS (sabit getiriler), VRS (değişen getiriler) ve ölçek etkinlik değerlerini göstermektedir. Bu analizde, CRS ve

³ (Note: crste = technical efficiency from CRS DEA, vrste = technical efficiency from VRS DEA, scale = scale efficiency = crste/vrste)

VRS değerleri her yıl firmaların verimlilik performansını ölçerken; ölçek etkinliği, CRS ile VRS arasındaki oranın firmaların ölçek verimliliğini nasıl yansıttığını göstermektedir. 2020, 2021 ve 2023 yıllarında her iki model için de değer 1.000 iken, bu durum firmanın bu dönemlerde “en iyi uygulama” sınırında yer aldığını ortaya koymaktadır. Diğer yıllarda CRS değerleri 0.908 ile 0.997 arasında değişirken, VRS değerleri genel olarak 1.000’e yakın seyretmiştir. Ölçek etkinliği, çoğunlukla artan getiriler (irs) şeklinde yorumlanmış; ancak 2022 yılında 0.991 değeri ve yanında belirtilen “drs” ifadesi, o dönemde ölçek açısından azalan getirilerin etkili olduğunu göstermektedir. Ortalama değerlere bakıldığında, CRS ortalaması 0.961, VRS ortalaması 0.989 ve ölçek etkinliği ortalama 0.972 olarak hesaplanmış olup, FORD-OTOSAN’ın genel olarak yüksek verimlilik ve ölçek etkinliği sergilediğini, fakat belirli dönemlerde ölçek verimliliği açısından iyileştirme potansiyelinin bulunduğunu söyleyebiliriz.

SFA Sonuçları:

Tablo 7. Ford Otosan – Stokastik Sınır Analizi Sonuçları (2011–2023)

Değişken	Katsayı (β)	t-istatistiği	p-değeri
Sabit (β_0)	0.284	2.05	0.041
Direkt işçilik giderleri	0.239	3.22	0.001 ^{*4}
İtfa payları ve amortisman giderleri	0.401	4.13	0.000 [*]
Direkt hammadde ve malzeme giderleri	0.286	3.01	0.003 [*]
Sigma ²	0.057	-	-
Lambda ($\lambda = \sigma_u / \sigma_v$)	2.10	-	-

Ortalama Teknik Etkinlik (TE): 0.954

En yüksek TE: 2020–2023 (%99–100 etkin)

En düşük TE: 2014 (%90,8 etkin)

(Tablo.7), Ford Otosan’da sermaye ve hammadde kullanımının üretim çıktısına etkisi oldukça yüksektir. Ortalama teknik etkinlik değeri 0.954 olup, firmanın genel olarak yüksek verimlilikte çalıştığını, ancak bazı yıllarda (özellikle 2014 ve 2016) ölçek ve yönetsel etkinlik açısından sınırlı sapmalar yaşadığını göstermektedir. Bu sonuç, DEA analizinde gözlemlenen “ölçeğe artan getiriler” eğilimiyle uyumludur.

Tablo 8. TOFAŞ – Stokastik Sınır Analizi Sonuçları (2011–2023)

⁴ * Değişken, istatistiksel olarak %5 düzeyinde anlamlıdır.

Değişken	Katsayı (β)	t-istatistiği	p-değeri
Sabit (β_0)	0.312	2.48	0.021
Direkt işçilik giderleri	0.272	3.91	0.000*
Amortisman giderleri	0.438	4.55	0.000*
İlk madde ve malzeme gideri	0.257	2.88	0.006*
Sigma ²	0.042	-	-
Lambda ($\lambda = \sigma_u / \sigma_v$)	1.75	-	-

Ortalama Teknik Etkinlik (TE): 0.972

En yüksek TE: 2020–2022 (%100 etkin)

En düşük TE: 2011 (%93,5 etkin)

(Tablo.8), TOFAŞ'ın üretim fonksiyonu katsayıları pozitif ve anlamlı bulunmuştur. Sermaye kullanımının çıktı üzerindeki katkısı en yüksek olup ($\beta=0.438$), firmanın üretim sürecinde sermaye yoğun teknolojilere dayandığını göstermektedir. Ortalama teknik etkinlik değeri 0.972, DEA bulgularındaki ortalama (0.985) ile uyumludur. 2018 sonrası dönemde firmanın tam etkinlik seviyesine ulaştığı görülmektedir.

Her iki yöntem de firmaların yüksek verimlilik düzeyine sahip olduğunu, ancak Ford Otosan'da zaman zaman rastgele faktörlerin ve ölçek farklılıklarının performansı etkilediğini göstermektedir. SFA modeli, DEA'den farklı olarak verimlilik düşüşlerinin yalnızca yönetimsel yetersizlikten değil, aynı zamanda dışsal şoklardan (piyasa koşulları, tedarik sorunları vb.) da kaynaklanabileceğini ortaya koymaktadır.

6. Sonuç

Bu çalışma, Türkiye otomotiv sektörünün iki büyük üreticisi olan TOFAŞ ve Ford Otosan firmalarının 2011–2023 dönemine ait KAP online raporlarından elde edilen veri setinden üretim süreçlerini analiz ederek, sektörel verimlilik performanslarını Veri Zarflama Analizi (DEA) ve Stokastik Sınır Yaklaşımı (SFA) yöntemleriyle değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, Türkiye otomotiv endüstrisinin genel olarak yüksek verimlilik düzeyine sahip olduğunu; ancak firmalar arasında ve dönemler arasında gözlenen farklılıkların, ölçek yönetimi, sermaye kullanımı ve işgücü verimliliği gibi faktörlerden kaynaklandığını göstermektedir. DEA analizine göre, TOFAŞ'ın 2014–2022 yılları arasında teknik etkinlik değerlerinin 1,000 düzeyinde seyretmesi, firmanın bu dönemde tam etkinlik sınırında faaliyet gösterdiğini göstermektedir. Buna karşılık, 2011, 2012, 2016 ve 2017 yıllarında etkinlik değerlerinin düşmesi, özellikle iç pazardaki daralma ve üretim kapasitesi dalgalanmalarına

İşgücü Verimliliği: Nitelikli işgücü yetiştirilmesi ve sürekli mesleki eğitim programlarının desteklenmesi, özellikle TOFAŞ gibi işgücü yoğun üretim yapan firmalarda etkinlik düzeyini yükseltebilir. **Tedarik Zinciri Optimizasyonu:** Küresel arz zinciri kırılganlıkları dikkate alınarak, yerli tedarik ağlarının güçlendirilmesi ve stok yönetiminde veri temelli yaklaşımların benimsenmesi önerilmektedir.

Ar-Ge ve İnovasyon Teşvikleri: Ford Otosan örneğinde olduğu gibi, uzun vadeli verimlilik artışının Ar-Ge yatırımlarıyla sağlandığı görülmüştür. Devlet destekleri ve üniversite-sanayi iş birlikleri, sektörde sürdürülebilir verimlilik için kritik rol oynamaktadır.

İlerleyen araştırmalarda, dijital dönüşüm, çevresel sürdürülebilirlik ve karbon verimliliği gibi değişkenlerin etkinsizlik fonksiyonuna dahil edilmesi, sektörün yeni dönüşüm dinamiklerini daha iyi yansıtacaktır. Uzun vadede panel veri temelli dinamik SFA modellerinin kullanılması, teknolojik ilerlemenin firmalar üzerindeki etkisini ölçmede daha ayrıntılı bulgular sunabilir. Sonuç olarak, TOFAŞ ve Ford Otosan örneği üzerinden yapılan bu analiz, Türkiye otomotiv endüstrisinin yüksek üretim kapasitesi ve uluslararası rekabet gücüyle birlikte, verimliliğin sürdürülebilirliğini sağlamak için ölçek etkinliği, dijitalleşme ve enerji verimliliği odaklı bir stratejik yaklaşımın gerekli olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma hem akademik hem de sektörel düzeyde gelecekteki politika tasarımlarına ışık tutmaktadır.

KAYNAKÇA

- Afrifa, G. A. (2022). Stochastic frontier modelling of working capital efficiency. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(4), 170. <https://doi.org/10.3390/jrfm15040170>
- Burkert, A. (2024). *The automotive industry in Turkey*. *MTZ Worldw*, 84(5), 8-13. <https://doi.org/10.1007/s38313-024-1934-0>.
- Chen Y., Liang, L., Yang, F., Zhu, J. (2006) *Evaluation of Information Technology Investment: A Data Envelopment Analysis Approach*, *Computers and Operations Research*, 33(5), 1368-1379.
- Coelli, T. (2007) *DEAP Programming*, University of Quesland.
- Çalmaşur, G. (2016). Technical efficiency analysis in the automotive industry: A stochastic frontier approach. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, IV(4), 1–16. <https://ijecm.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/446.pdf>
- Çoban, A., Çoban, O., & Baysal Kurt, D. (2018). *Technical and scale efficiency of the Turkish automotive industry using data envelopment analysis*. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 58-71. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/621324>.
- Dolanay, S. S. (2021). *Rapid rise of China automotive industry in the 2000s and history of Turkey automotive industry*. *China-USA Business Review*, 20(1), 46-64. doi: 10.17265/1537-1514/2021.01.003.
- Ford Otosan. (2017). *A case study of digital journey: Ford Otosan*. Retrieved from: https://fplreflib.findlay.co.uk/images/pdf/ems/Sabri%20Cimen%20-%20Ford%20-%20Berlin_november%202017_22_11_videolu%20-%20to%20be%20shared_pdf%20icin.pdf
- Ford Otosan. (2022). *Case study report: CFD simulations for powertrain test labs*. TRUBA. Retrieved from: <https://eurocc.truba.gov.tr/wp-content/uploads/2022/11/Fordotosan-sonuc.pdf>.
- Fusco, E., Balasubramanian, N., & Migliardo, C. (2023). Stochastic frontier estimation through parametric modelling. *Empirical Economics*, 65(2), 987–1009. <https://doi.org/10.1007/s00181-022-02277-9>
- Günay, G., Çebi, F., & Topal, B. (2020). *Innovation efficiency in automotive industry: The case of Turkey*. In N. M. Durakbasa & M. Gençyılmaz (Eds.), *Digital Conversion on the Way to Industry 4.0* (pp. 643-652). https://doi.org/10.1007/978-3-030-62784-3_55.
- Hajihassaniasl, S., & Kök, R. (2016). Scale effect in Turkish manufacturing industry: Stochastic metafrontier analysis. *Journal of Economic Structures*, 5(13), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s40008-016-0044-9>
- Honma, S., & Hu, J. (2018). A meta-stochastic frontier analysis for energy efficiency of regions in Japan. *Journal of Economic Structures*, 7(19), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40008-018-0119-x>
- Jofree, A. M., Wahab, A. A., & Rahman, R. A. (2021). Efficiency assessment of transport manufacturing firms using a stochastic frontier analysis approach. *Sains Malaysiana*, 50(8), 2445–2453. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5008-25>
- Mete, H., & Belgin, Ö. (2021). *Impact of knowledge management performance on the efficiency of R&D activities in the Turkish automotive industry: A data envelopment analysis approach*. *Journal of the Knowledge Economy*, 12, 688-708. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00758-1>.
- Oh, D. H., & Hildreth, A. J. (2014). Estimating the technical improvement of energy efficiency in the automotive industry—Stochastic and deterministic frontier benchmarking approaches. *Energies*, 7(9), 6196–6213. <https://doi.org/10.3390/en7096196>
- Oh, D. H., & Shin, S. K. (2021). The assessment of car making plants with an integrated stochastic frontier analysis model. *Mathematics*, 9(11), 1296. <https://doi.org/10.3390/math9111296>
- Paker, F. A. (2021). *The Republic period of the Turkish automotive industry and product design*. *Art and Design Review*, 9(1), 27-45.
- Sun, Y. C. (2024). A stochastic production frontier model for evaluating the effect of AI innovation on production efficiency. *Technological Forecasting and Social Change*, 198, 122978. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.122978>
- Şahin, İ. E., & Akkoyuncu, H. (2019). *Türkiye’de Otomotiv Sektöründe Faaliyet Gösteren Şirketlerin Etkinlik Analizi*. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 42 (1), 339-347.
- Yasar, O. (2013). *Automotive Main and Component Industriesin Turkey and Clustering in the Marmara Region*. *Turkish Studies - International Periodical for The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 8(6) 779-805.
- Yenilmez, İ. (2024). Exploring the Lindley distribution in stochastic frontier models. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 53(4), 1102–1119. <https://doi.org/10.1080/03610918.2023.2165304>
- Yıldız, H., & Taştan, H. (2021). Energy efficiency in the Turkish manufacturing industry using firm-level microdata: A stochastic frontier approach. *ICE-TEA 2021 Conference Proceedings*, 1–14.
- Yiğiteli, N. G. (2024). Decomposition of total factor productivity growth in Türkiye: A stochastic frontier analysis approach. *Economic Modelling*, 125, 106339. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2024.106339>