

Türk Savunma ve Havacılık Sanayisinde Üretim Faktörlerinin Analizi

Fethi Aslan¹ 

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Türk savunma ve havacılık sanayisinde istihdam, teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme harcamalarının ciro üzerindeki etkilerini inceleyerek, sektörel büyüme dinamiklerini belirlemektir.

Yöntem: Çalışmada, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu sektörel verilere dayalı olarak uygulanmıştır. Analiz güvenilirliğini arttırmak amacıyla Bootstrap yeniden örnekleme ve Monte Carlo simülasyon tekniklerinden yararlanılmıştır.

Bulgular: Elde edilen bulgular, Türk savunma ve havacılık sanayisinde istihdam, teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme harcamalarının sektörel büyüme üzerinde anlamlı ancak farklılaşan etkiler oluşturduğunun ortaya koymaktadır. Ürün geliştirme harcamaları büyüme performansı (ciro) üzerinde en güçlü etkiye sahiptir. Bununla birlikte, teknoloji geliştirme harcamalarının etkisinin beklenenden düşük seviyede kalmıştır. İstihdam faktörünün ise ürün geliştirme faktörüne yakın bir katkı sağlamıştır.

Orjinallik: Bu çalışmanın özgünlüğü, savunma ve havacılık sektöründe üretim faktörlerinin ekonomik etkisini analiz etmek için Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun Bootstrap ve Monte Carlo simülasyon teknikleriyle güçlendirildiği metodolojik açıdan yenilikçi yaklaşımında yatmaktadır. Ayrıca, teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme faktörlerinin etkisinin ayrıştırılarak incelenmesiyle bu kritik sektörde detaylı bir faktör analizi sunan ilk çalışmalardan biri olma özelliği taşımaktadır. Bununla birlikte hızlı bir şekilde büyüyen Türk savunma ve havacılık sanayisinde teknoloji geliştirme harcamalarının beklenenin altında etkili olduğu bulgusu özgün bir ampirik katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonometrik Analiz, Verimlilik, Bootstrap, Monte Carlo, Ürün Geliştirme, Teknoloji Geliştirme.

JEL Kodları: D24, F52, H56, O32.

Analysis of Production Factors in Turkish Defense and Aerospace Industry

ABSTRACT

Purpose: The aim of this study is to identify the dynamics of sectoral growth in the Turkish defense and aerospace industry by examining the effects of employment, technology development, and product development expenditures on turnover.

Method: In this study, the Cobb-Douglas production function was applied based on sectoral data. Bootstrap resampling and Monte Carlo simulation techniques were utilized to improve the reliability of the analysis.

Findings: The findings show that employment, technology development, and product development expenditures all have significant effects on sectoral growth in the Turkish defense and aerospace industry. Product development has the strongest impact on turnover. The effect of technology development is lower than expected. Employment provides a contribution close to that of product development.

Originality: The originality of this study lies in its methodologically innovative approach. It strengthens the analysis of the economic effects of production factors in the defense and aerospace industry by combining the Cobb-Douglas production function with Bootstrap and Monte Carlo simulation techniques. Additionally, by separately examining the effects of technology development and product development factors, this study is among the first to provide a detailed factor analysis in this critical sector. At the same time, the finding that technology development expenditures have had a less-than-expected impact in the rapidly growing Turkish defense and aerospace industry provides a unique empirical contribution.

Keywords: Econometric Analysis, Productivity, Bootstrap, Monte Carlo, Product Development, Technology Development.

JEL Codes: D24, F52, H56, O32.

¹ Elazığ İl Özel İdaresi, Elazığ, Türkiye

Sorumlu Yazar-Corresponding Author: Fethi Aslan, fethi.aslan@outlook.com

DOI: 10.51551/verimlilik.1730323

Araştırma Makalesi / Research Article | Geliş / Submitted: 30.06.2025 | Kabul / Accepted: 23.09.2025

Atıf/Cite: Aslan, F. (2025). "Türk Savunma ve Havacılık Sanayisinde Üretim Faktörlerinin Analizi", *Verimlilik Dergisi*, 59(4), 985-1002.

EXTENDED ABSTRACT

The global balance of technological power is undergoing a transformation. The traditional dominance of western actors in research and development is weakening. At the same time, emerging actors such as China are rapidly increasing their strategic technological capabilities. This transformation deeply affects not only international competition but also global geopolitical stability. Within this context, the defense and aerospace industries have become closely associated with strategic autonomy. The level of technological dependency in these sectors has gained even greater importance as a critical factor directly impacting national security. These industries, characterized by R&D intensity and long-term development cycles, are shaped by strategies aimed at reducing investment risks and building capacity through public-private partnerships.

Turkey is one of the countries that confronted these realities and recognized the critical role of the defense and aerospace industry many years ago. One of the key priorities for Turkey's defense and aerospace sector is to achieve strategic autonomy in global competition. To this end, long-term strategies and policies have aimed to enhance technology and product development capabilities. In recent years, significant resources have been allocated to the defense and aerospace industry. These allocations have been made particularly through employment-boosting programs, government incentives, joint projects, and various funding mechanisms. Examining how these resources are utilized is critical for quantitatively understanding their impact on the sector's growth and performance. Within this framework, the present study examines the impact of employment as well as product and technology development expenditures on the performance (turnover) of the defense and aerospace industry. To contribute to this objective, the present study examines the impact of production factors on industry turnover using econometric methods based on SASAD data from the 2012–2023 period.

As part of the analysis, two different Cobb-Douglas production function models were developed to examine the relationship between sectoral output (turnover) and key production inputs. During the analysis process, two distinct econometric models were constructed. In the first model, the independent variables used were total employment level and the combined expenditures on product development and technology development. This approach aimed to measure the overall impact of expenditures as a whole. In the second model, three separate variables were used: total employment, product development expenditures and technology development expenditures. The Ordinary Least Squares (OLS) method was employed as the estimation technique. To enhance the reliability of the results, Bootstrap resampling and Monte Carlo simulation methods were also utilized. This methodological approach helps mitigate potential biases arising from the small sample size. Additionally, it allows for a more robust estimation of confidence intervals for the predicted parameters.

In Model 1, sectoral turnover was used as the dependent variable. Total employment and the combined expenditures on product and technology development served as the independent variables. The analysis results indicate that the model has a very high explanatory power. The residuals exhibit a normal distribution and the overall significance of the model is strongly supported. The coefficient estimates show that both employment and combined product/technology development expenditures have a significant positive impact on turnover. The results of Model 2 indicate that the model explains the data well and is statistically significant. There is no evidence of autocorrelation, and the residuals closely follow a normal distribution. Reliability checks using resampling and simulation methods confirmed the robustness of the estimated coefficients. Confidence intervals obtained from these methods were consistent with the original estimates, with one method providing narrower intervals and the other showing slightly wider intervals. In Model 1, a 100% increase in employment and product and technology development expenditures leads to an overall 102.3% increase in turnover. In Model 2, a 100% increase in employment, technology development, and product development investments results in a 105.2% rise in turnover. These findings indicate that increasing returns to scale apply to the defense and aerospace industry.

This study provides three original contributions. First, it highlights the strategic importance of the Turkish defense and aerospace industry in the context of global transformation. Second, it develops a sector-specific econometric model that reveals interactions among high-tech production inputs. Third, it offers a novel methodological framework combining classical and simulation-based techniques.

In conclusion, this research provides a rigorous, empirically grounded analysis of the impact of production factors on performance in the Turkish defense and aerospace industry. It offers a solid knowledge base for strategic decision-making regarding the sector's future. Another key contribution of the study is its methodological perspective, introduced through the application of Bootstrap resampling and Monte Carlo simulation methods—approaches rarely utilized in the local academic literature.

1. GİRİŞ

Küresel teknolojik güç dengesi tarihsel bir dönüm noktasındadır. Geleneksel olarak araştırma-geliştirme ve üretimde üstün konumda olan batılı ülkelerin bu üstünlükleri giderek azalmaktadır. Çin'in yükselen teknolojik kapasitesi, uluslararası sistemde yeni bir güç dağılımının habercisi niteliğindedir. Bu teknolojik güç kayması, yalnızca teknolojik rekabeti değil aynı zamanda küresel jeopolitik dengeleri yeniden şekillendiren bir değişimi işaret etmektedir (Gaida ve diğerleri, 2023: 1). Çin'in savunma ve uzay teknolojilerindeki hızlı ve stratejik ilerleyişi, küresel güvenlik mimarisinde köklü endişeler yaratmaktadır. Bu teknolojik atılımlar, dünya genelinde teknolojik bağımlılık ve tekelleşme riskine karşı yeni ulusal güvenlik stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Söz konusu riskler ülkelerin stratejik özerkliklerini elde etmesine yönelik çabaları daha da arttırmaktadır. Stratejik özerklik, bir ulusun askeri güç kullanma kararını dış etkilere bağımsız olarak alabilme kapasitesi olarak ifade edilir (Mauro ve Thoma, 2016: 37). Stratejik özerkliğin merkezinde yer alan savunma ve havacılık sanayi, bu dönüşüm sürecinde devletlerin jeopolitik güvenliği ve bağımsızlığı için vazgeçilmez bir unsurdur. Bu bağımlılık yalnızca teknolojinin temini ile sınırlı değildir. Aynı zamanda teknolojinin modernizasyonu, tedarik zincirinin sürdürülebilirliği, lojistiği ve kullanım haklarına ilişkin faktörleri de kapsamaktadır (Markowski ve diğerleri, 1997). Savunma ve havacılık sanayi yatırımları, üretim süreçleri ve uluslararası ticaret faaliyetlerinin doğrudan devlet kontrolü ve düzenlemelerine tabi olması bu sektörü diğer endüstrilerden belirgin biçimde ayırmaktadır.

Savunma ve havacılık sanayisinde teknolojilerin geliştirilmesi oldukça maliyetli ve risklidir. Araştırmalar, savunma ve havacılık sanayisinde başlatılan teknoloji odaklı çalışmaların, sahada kullanılabilir ürün ve sistemlere dönüştürülmesinin onlarca yıllık bir süre gerektirdiğini ortaya koymaktadır (Fernandes ve Centrone, 2024: 16). Bu nedenle, sektördeki temel araştırma ve geliştirme yatırımları ağırlıklı olarak kamu kaynakları ile finanse edilmektedir. Özel sektör kuruluşları ise daha çok ürün geliştirme ve inovasyon projelerine odaklanmaktadır. Temel araştırma ve tasarım faaliyetlerinin kamu kurumları veya devlet destekli kuruluşlar tarafından yürütülmesi, elde edilen teknolojik birikimin ürün geliştirme aşamasında özel sektöre aktarılması en etkili strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu tür bir kamu-özel sektör iş birliği modeli, yüksek maliyetli araştırma risklerinin kamu tarafından üstlenilmesini sağlar. Teknolojik bilgi birikiminin endüstriyel ekosistem içinde yaygınlaşmasına ve kapasitesinin gelişmesine olanak tanır (Markowski ve diğerleri, 1997).

Bu alandaki sürdürülebilir başarı, endüstrinin dinamik yapısının doğru bir şekilde analiz edilmesi ve politika önlemlerinin bu analiz doğrultusunda şekillendirilmesine bağlıdır. Nitekim, savunma sanayisinin yüksek teknoloji gerektiren yapısı ve sürekli değişen rekabet koşulları, yalnızca finansal destek mekanizmalarının değil, verimliliği arttıran yapısal faktörlerin de dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Kaynak tahsis teorisi, sınırlı ekonomik kaynakların optimal dağılımı ve kullanımı ile ilgilenen çok boyutlu bir yaklaşımı ifade eder. Bu teori, bir organizasyonun belirli çıktıları elde etmek amacıyla üretim faktörlerini etkin bir şekilde seçmesi ve dağıtması gerektiğini savunur. Kaynak tahsisi süreci, finansal ölçütlerle birlikte sosyal fayda, politik gereklilikler ve teknik yeterlilik gibi faktörlerinde bir arada değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar verme süreci olarak ele alınır (Bower, 2018: 1446). Bu nedenle savunma ve havacılık sanayi projeleri, finansman mekanizmaları, insan kaynağı yatırımları ve politik iradenin stratejik bir bütünlük içinde yönetilmesi ile başarıya ulaşabilir (Fernandes ve Centrone, 2024: 16).

Türk savunma ve havacılık sanayisinin küresel düzeyde görece yeni bir aktör olarak konumlanması, sektörün gelişimi için stratejik bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu yeni pozisyon, Türkiye'nin son yıllarda savunma politikasındaki değişiminin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Geçmiş dönemlerde savunma ihtiyaçlarını büyük ölçüde ithalat yoluyla karşılayan Türkiye, uzun yıllardır devam eden çalışmaları sonucunda kayda değer atılımlar gerçekleştirmiştir. Bu stratejik dönüşüm, yalnızca askeri kapasiteyi güçlendirme amacı ile sınırlı değildir. Aynı zamanda teknolojik bağımsızlık, ekonomik kalkınma ve uluslararası alanda rekabet gücü kazanma hedeflerini de içermektedir. Türk savunma sanayisinin bu süreçte farklı zorluklarla karşı karşıyadır. Bunlar, gelişmiş ülkelerdeki köklü savunma şirketlerinin sahip olduğu teknolojik birikim ile rekabet etme, nitelikli insan kaynağını sektöre çekme ve uygun kaynak tahsis modellerini hayata geçirme gibi faktörler yer almaktadır.

Yapılan bu çalışma ile Türk savunma ve havacılık sanayisinde üretim faktörlerinin çıktı üzerindeki etkilerini ve bu faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri nicel veriye dayalı olarak ortaya koymak amaçlanmıştır. Söz konusu ilişkiler ekonometrik bir çerçevede sistematik biçimde analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, havacılık ve savunma sanayisine ait sektörel veriler kullanılarak Cobb-Douglas üretim fonksiyonu uygulanmış, analiz güvenilirliğini arttırmak amacıyla Bootstrap yeniden örnekleme ve Monte Carlo simülasyon tekniklerinden yararlanılmıştır. Çalışma küresel teknolojik dengelerin yeniden yapılandığı günümüzde savunma ve havacılık sanayisinin artan stratejik önemi ve kaynak tahsisinin ulusal güvenlik ile ekonomik bağımsızlık açısından taşıdığı kritik rol çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmaktadır. Bu bağlamda, üretim süreçlerinin ekonomik verimlilik perspektifiyle analizi hem akademik çevreler hem de politika yapımcılar için büyük önem arz etmektedir. Çalışmanın literatüre yapacağı katkı yalnızca ampirik bulgularla sınırlı

kalmayıp, aynı zamanda teorik ve politik tartışmalara da yön verecek nitelikte olacağını ortaya koymaktadır. Böylelikle çalışma hem metodolojik hem de stratejik katkısıyla literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Uygulanan ekonometrik yaklaşım, karar vericilere yalnızca mevcut durumun analizini değil, aynı zamanda sektörel stratejik planlama ve kaynak tahsisi optimizasyonu için bilimsel bir temel oluşturmaya yönelik bir perspektif de sunmaktadır.

Çalışmanın izleyen bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır. İkinci bölümde, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ile ilgili gerçekleştirilen araştırmaların incelendiği literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, savunma ve havacılık sanayisine ilişkin kapsamlı bilgiler ile çalışmanın değişkenlerinin teorik temellerini ortaya koyan kavramsal çerçeve sunulmuştur. Dördüncü bölümde, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu, Monte Carlo simülasyonu ve bootstrap tekniklerinin kullanıldığı yöntem kısmı açıklanmıştır. Beşinci bölümde istatistiksel analizlerin değerlendirildiği bulgulara odaklanılmış, altıncı ve son bölümde ise elde edilen bulguların teorik ve pratik çıkarımları tartışılarak çalışma tamamlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu çerçevesinde işgücü ve sermaye girdilerinin farklı sektörlerdeki çıktı göstergeleri üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, makroekonomik düzeyde ülke ekonomilerinin büyüme dinamiklerinden, tarım ve sanayi gibi spesifik sektörlerin verimlilik analizlerine, firma düzeyinde performans değerlendirmelerine kadar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Günümüzde enerji kullanımı, çevresel faktörler, teknolojik ilerleme ve Ar-Ge yatırımlarının üretim süreçlerine etkilerini analiz etmek için de yaygın biçimde kullanılmaya devam etmektedir.

Bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Khatun ve Afroze (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, seçilmiş Asya ülkelerinde emek ve sermaye faktörlerinin gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) üzerindeki etkileri, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu çerçevesinde analiz edilmiştir. Araştırmacılar, 1990-2014 dönemini kapsayan panel veri setini kullanarak Bangladeş, Hindistan, Çin, Malezya ve Tayland ekonomilerini incelemişlerdir. Çalışmada metodolojik olarak en küçük kareler yöntemi tercih edilmiştir. Ampirik bulgular, üretim faktörlerinin GSYİH üzerindeki etkisinin ülkeler arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle, emek ve sermaye değişkenlerinin GSYİH üzerindeki marjinal etkisinin Çin ve Bangladeş ekonomilerinde istatistiksel olarak daha belirgin ve yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, sermaye birikiminin çıktı üzerindeki katkısının Tayland ve Malezya ekonomilerinde görece daha düşük düzeyde kaldığı gözlemlenmiştir. Diğer bir çalışmada Dritsaki ve Stamatiou (2018) çalışmasında, Polonya'nın 1990-2016 kapsayan dönemde piyasa açıklığının uzun vadeli ekonomik büyüme üzerindeki etkisini Cobb-Douglas üretim fonksiyonu çerçevesinde analiz etmiştir. Kişi başına reel gayri safi yurtiçi hasıla, ticari açıklık, finansal gelişmişlik, sermaye stoku ve nitelikli işgücü gibi yapısal faktörlerle ilişkilendirilmiştir. Araştırma sonuçları, sermaye birikiminin hem kısa hem de uzun vadede ekonomik gelişimin temel itici gücü olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, işgücü ekonomik büyüme üzerinde negatif etki göstermiştir. Ayrıca, ticari açıklık ve finansal gelişmişlik değişkenleri istatistiksel olarak anlamlı bir etki sergilememiştir. Başka bir çalışmada Basegmez ve Onalan (2018) Amerika Birleşik Devletleri'nin ekonomik büyümesini incelemiştir. Çalışmada çıktı faktörü olarak gayri safi yurtiçi hasıla, girdi faktörleri olarak ise emek ve sermaye faktörlerini kullanmıştır. Yapılan analizler, sermaye yatırımlarındaki artışın üretim üzerinde pozitif bir etkisi olduğunu ancak emeğin üretim üzerindeki etkisinin sermayeye kıyasla çok daha güçlü olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, sermaye ve emeğin toplam katkısının 1'den büyük olması, her iki faktörün bir arada çalışarak toplam üretimde daha büyük bir artışa neden olduğunu göstermiştir.

Hayami (1970) çalışmasında, tarımda kullanılan iş gücü, eğitim ve araştırma faaliyetlerinin buğday üretimi üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, tarımda çalışan erkek işçi sayısı, okuryazarlık ve okul kayıt oranı, eğitim ve iş gücü değişkenleri olarak kullanılmıştır. Tarımsal araştırma ve geliştirme faaliyetlerini temsil etmek için ise tarım kolejlerinden mezun olan erkek çiftçi sayısı seçilmiştir. Çıktı değişkeni olarak ise buğday üretimi kullanılmıştır. Ayrıca, tarımsal çıktı ölçüsü katma değer ölçüsüne göre hesaplanmış ve yalnızca tohum ve yem girdileri dikkate alınarak tarımsal üretim değerleri belirlenmiştir. Çalışmada, ücret artışlarının tarım üretimini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Ancak, eğitim ve araştırma gibi değişkenlerin tarım üretimini arttıran önemli faktörler olarak belirgin bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ücret oranı ile üretim arasındaki ilişki, Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun öngördüğü şekilde birim elastikiyetle uyumlu bulunmuştur. Dolayısıyla ücret artışlarının üretim üzerinde orantılı bir etkisi olduğu saptanmıştır. Zhang ve diğerleri (2020) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, Çin'de mısır verimini etkileyen temel faktörlerin belirlenmesi amacıyla Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılmıştır. Çalışmada, mısır üretimini etkileyen dört ana değişken olarak etkili yağış miktarı, mısır ekim alanı, kimyasal gübre kullanımı ve pestisit uygulama oranları ele alınmıştır. Yapılan ekonometrik analizler söz konusu faktörlerin mısır verimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bulgulara göre, mısır verimi üzerinde en yüksek etkiye pestisit uygulaması sahipken, bunu sırasıyla ekim alanı, kimyasal gübre kullanımı ve etkili yağış miktarı izlemiştir. Torres (2020)

çalışmasında, Amerika Birleşik Devletleri'nde mal ve hizmet tüketimi ile ulusal savunma hizmetleri arasındaki ikame esnekliği ile askeri harcamaların ekonomik konjonktürle ilişkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, savunma sanayindeki teknolojik gelişmelerin ve yatırımların sivil ekonomi üzerindeki yayılma etkileri incelenmiştir. Araştırmacı, bu amaçlar doğrultusunda sermaye ve emek faktörlerini içeren iki sektörlü dinamik stokastik genel denge modelini kullanmıştır. Modelde gayri safi yurt içi hasıla bağımlı değişken, sivil tüketim harcamaları, iş sektöründeki sermaye yatırımları ve askeri mal/hizmet tüketimi bağımsız değişkenler olarak konumlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ekonomik büyüme sürecinde gözlemlenen GSYİH artışı, askeri harcamalarda sistematik bir yükselişe neden olmaktadır. Söz konusu askeri harcamaların artışı, sivil tüketim ve yatırım alanlarına tahsis edilebilecek kaynaklar üzerinde kısıtlayıcı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla beraber, çalışmanın bulgularına göre, askeri harcamaların sivil tüketimle olan etkileşimi neticesinde ekonomik performans üzerinde sınırlı düzeyde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Wang ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmada, Çin'in Sichuan Eyaleti'nde 1996-2018 dönemine ait tarımsal veriler kullanılarak toplam tarımsal üretim büyüme oranı incelenmiştir. Çalışmada, tahminler için hibrit geliştirilmiş yasa optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, tarımsal üretim büyümesinde işgücünün en baskın faktör olduğu ortaya konmuştur. Materyal giderlerinin orta düzeyde bir etkisi bulunurken, arazi kullanımının etkisi ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır. Vasylyeva (2021) çalışmasında ise, Ukrayna tarım sektöründe brüt katma değer oluşumunu etkileyen faktörleri Cobb-Douglas üretim fonksiyonu çerçevesinde analiz etmiştir. Çalışmada, sabit sermaye/kullanılan sabit varlıklar, tarımdaki çalışan sayısı ve iş gücü maliyetleri entelektüel varlıkların birleşik katsayısı, ek olarak çevresel kirletici emisyon değişkenleri kullanılmıştır. Araştırmada ayrıca teknolojik katsayı aracılığıyla işgücü potansiyelinin niceliksel olarak ölçülemeyen faktörlerinin etkisi de değerlendirilmiştir. Ampirik bulgular, Ukrayna tarım sektöründe en güçlü pozitif etkinin işgücünden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bunu sırasıyla entelektüel varlıklar ve sermaye yatırımları izlemektedir. Öte yandan, çevresel kirletici emisyonların tarımsal üretim üzerinde güçlü bir negatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Wei (2007) tarafından yapılan çalışmada, enerji verimliliği kazanımlarının üretim ve enerji kullanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu inceleme, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu kullanılarak hem kısmi analiz hem de iki sektörlü genel denge modeli çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, enerji üretim verimliliğindeki artışlar enerji kullanımı üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır. Buna karşın, enerji kullanım verimliliğindeki artışların benzer bir etkisi olmadığı ve fiyatlar üzerindeki etkisinin, enerji üretim verimliliğindeki artışlara kıyasla daha sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Yuan ve diğerleri (2009) ise çalışmasında, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu çerçevesinde enerji yoğunluğunu etkileyen faktörleri detaylı bir şekilde incelemiştir. Teknolojik ilerlemenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi iki temel mekanizma ile açıklanmıştır. İlk mekanizma, teknolojik ilerlemenin ekonomik büyümeyi desteklediği ve üretim ile tüketim faaliyetlerini arttırdığı varsayımına dayanmaktadır. Bu artışın ise enerji tüketiminde bir yükselişe yol açtığı kabul edilmektedir. İkinci mekanizma, teknolojik ilerlemenin daha verimli araçlar ve yöntemler geliştirilmesini sağladığı varsayımına dayanmaktadır. Bu durumun ise enerji verimliliğini artırarak enerji tüketimini azalttığı kabul edilmektedir. Bu çerçevede, enerji yoğunluğunu belirleyen faktörlerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılabilmesi için çalışmada emek, sermaye ve teknolojik ilerleme değişkenleri analiz edilmiştir. Araştırmacının bulguları, sermaye birikimi ve emek girdisindeki artışların enerji yoğunluğunu arttırdığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık, teknolojik ilerlemenin enerji yoğunluğu üzerinde belirgin bir azaltıcı etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Bond ve Söderbom (2005) çalışmasında, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu parametrelerinin tahmin edilmesindeki metodolojik zorluklara ışık tutan önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar, ideal piyasa koşullarında tüm firmaların benzer girdi seçimleri yapacağından parametrelerin tahmin edilmesinin teorik olarak imkânsız olduğunu ortaya koymuştur. Ancak gerçek dünyada, firmalar üretim faktörlerini (sermaye ve işgücü) değiştirirken ayarlama maliyetleriyle karşılaşmaktadır. Bu maliyetler, firmaların farklı davranışlar sergilemesine yol açmakta ve ekonometrik tahminlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Çalışmada Monte Carlo simülasyon teknikleri kullanılarak hem sabit hem de değişken ayarlama maliyetlerinin etkisi modellenmiştir. Özellikle modele rastsal maliyet bileşenlerinin eklenmesinin, tahminlerin doğruluğunu önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada Osti (2023), İtalya'nın Bologna şehrinde faaliyet gösteren firmaların gelir yapılarını etkileyen sabit ve değişken maliyetleri incelemiştir. Araştırmada, örneklem olarak seçilen dört firmanın yıllık frekansta toplanan 11 yıllık verilerinden oluşan veri seti kullanılmıştır. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu çerçevesinde en küçük kareler, statik ve dinamik panel veri analizleri ile Levinsohn ve Petrin yöntemi gibi çeşitli ekonometrik tahmin yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Gelir bileşenleri yıllık toplam satışlar, ihracat gelirleri, hurda satışları ve diğer gelirlerden oluşturulmuştur. Maliyet bileşenleri ise sermaye maliyetleri, işgücü maliyetleri (çalışan sayısı ve toplam işçilik giderleri) ile hammadde ve ara mal alımları olarak belirlenmiştir.

İncelenen çalışmalara göre, Cobb-Douglas üretim fonksiyonu ekonometrik analizlerde yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Farklı sektörlerde ve ülkelerde yapılan çalışmalarda bu fonksiyonun yaygın kullanımı,

ekonomik çıktıların modellenmesinde güvenilir bir araç olarak kabul edildiğini göstermektedir. Aynı sektörde bile farklı çalışmalarda farklı faktörlerin baskın olması, ekonomik etkenlerin evrensel değil, bağlamsal olduğunu göstermektedir. Emek ve sermayenin ekonomik çıktı üzerindeki etkisi, ülkeden ülkeye, sektörden sektöre ve zaman içinde önemli farklılıklar göstermektedir. Gelişmekte olan ekonomilerde emek faktörü daha ön plandayken, gelişmiş ekonomilerde sermaye ve teknoloji faktörleri önem kazanmaktadır. Bununla birlikte, aynı gelişmişlik seviyesindeki farklı bölgelerde yapılan benzer çalışmaların farklı sonuçlar vermesi, yerel koşulların ve politikaların da belirleyici rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

Çalışmalarda hangi üretim faktörlerinin (sermaye veya emek) daha etkili olduğu konusunda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda sermaye, ekonomik büyümenin ana itici gücü olarak görülürken, diğerlerinde emeğin etkisinin daha güçlü olduğu saptanmıştır. Ayrıca, üretim süreçlerinin çok değişkenli yapısı dikkate alındığında tek bir faktörün değil, birbiriyle etkileşim halinde olan çoklu değişkenlerin üretim sonuçları üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir.

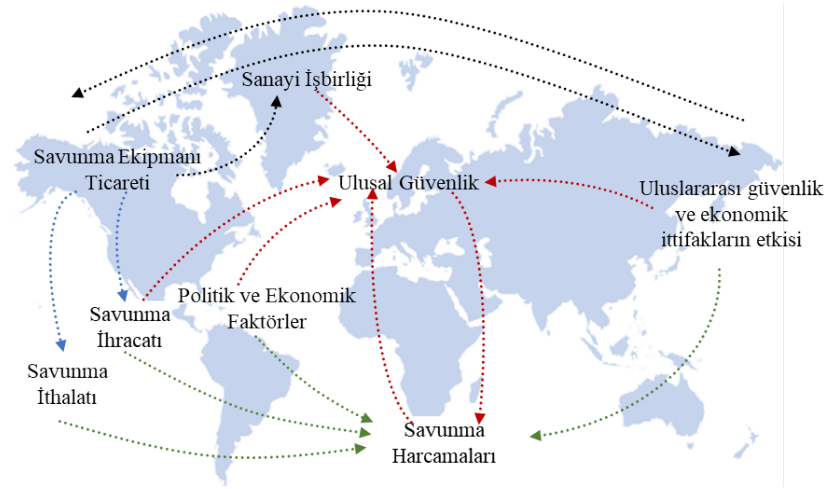
Önceki çalışmalarda Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun tahmininde çoğunlukla klasik yöntemler, özellikle en küçük kareler (OLS) tekniği kullanılmıştır. Bu nedenle parametre belirsizlikleri yeterince kapsamlı değerlendirilememiştir. Literatürde Bootstrap ve Monte Carlo yöntemlerinin kullanılabileceğine işaret eden sınırlı sayıda çalışma bulunsa da bu yöntemlerin birlikte uygulanması nadirdir. Bu bağlamda, söz konusu çalışmada Cobb-Douglas üretim fonksiyonu OLS yöntemiyle tahmin edilirken, parametre belirsizliğini daha ayrıntılı analiz edebilmek amacıyla Bootstrap ve Monte Carlo yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu iki yönlü metodolojik yaklaşım, farklı varsayımlar altında model performansını test etme imkânı sunmuştur. Böylece tahmin edilen parametrelerin güven aralıkları ve standart hataları daha hassas bir şekilde belirlenmiş, modelin istatistiksel güvenilirliği artırılmıştır. Geleneksel ekonometrik yöntemlerin ötesine geçen bu yaklaşım hem teorik katkı sağlamış hem de uygulama sonuçlarının sağlamlığını güçlendirmiştir.

Ayrıca, önceki çalışmalarda farklı üretim faktörleri incelenmesine rağmen, savunma ve havacılık sanayisine yönelik üretim faktörleri yeterince incelenmemiştir. Bu durum, söz konusu sektörlerde üretim sürecinin verimliliğini ve kaynak kullanım etkinliğini ölçmeye yönelik bir boşluk bulunduğunu göstermektedir. Bu boşluğu ele almak için, savunma ve havacılık sanayisine özgü üretim faktörleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Böylelikle, Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun sektöre özgü dinamiklerin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkı sağlanmıştır.

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

3.1. Savunma ve Havacılık Sanayi

Savunma ve havacılık sanayinde müşteri portföyünün doğrudan devletlerden oluşması, ticari ilişkilerin çok boyutlu bir stratejik düzlemde ele alınmasını gerektirir. Bu sanayideki ürünlerin küresel dolaşımı; diplomatik münasebetler, stratejik ortaklıklar, güvenlik ittifakları ve algılanan tehdit unsurları gibi kompleks değişkenler ışığında şekillenir. Bu bağlamda, üretim ve ihracat politikaları, ulusal güvenlik doktrini ve dış politika hedefleriyle entegre biçimde formüle edilir. Ayrıca, teknolojik üstünlük ve rekabet dinamikleri de belirleyici rol oynar (Hooke 2005: 4). Şekil 1'de gösterilen çok boyutlu yapı bu stratejik bütünlüğü ve bu alanların birbiriyle olan derin ilişkisini ortaya koymaktadır. Bu yapının her bir bileşeni, diğer elemanlarla organik bir bağ içerisinde fonksiyon göstermekte ve kolektif bir etki yaratmaktadır. Şekil 1'de görselleştirilen bileşenler arasındaki karşılıklı bağımlılık ve etkileşim, ulusal güvenliğin entegre doğasını yansıtmaktadır. Şeklin merkezinde konumlandırılan savunma harcamaları ve ulusal güvenlik stratejileri, farklı unsurların birbiriyle bağlantılı ve etkileşim halinde olduğu merkezi bir noktadır. Ulusal güvenlik, savunma ihracatı, offset mekanizmaları, politik-ekonomik dinamikler ve uluslararası güvenlik-ekonomik iş birliklerinin etkisi altında şekillenmektedir. Savunma harcamaları da benzer şekilde politik-ekonomik değişkenler, savunma ticareti dinamikleri ve uluslararası iş birliklerinin etkileşim halindedir. Teknolojik yeterlilik düzeyleri ülkelerin savunma ekosistemindeki konumlarını belirleyen kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Teknolojik olgunluğa erişememiş ülkeler, savunma ürünlerinin ithalatına yönelirken, ileri teknolojik kapasiteye sahip ülkeler, savunma sanayilerini geliştirerek ihracat potansiyellerini gerçekleştirebilmektedir. Teknolojik yetersizlik yaşayan ülkeler, offset anlaşmaları vasıtasıyla teknoloji transferi sağlayarak savunma endüstrilerinin gelişmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Ulusal güvenlik ve savunma harcamaları arasındaki denge (Hooke, 2005)

Savunma sanayi harcamaları açısından lider konumda bulunan Amerika Birleşik Devletleri, küresel ticaret hacmi ve Ar-Ge yatırımları bakımından da benzer bir üstünlüğe sahiptir. Savunma Ar-Ge harcamalarında ABD 129 milyar Euro, Çin 21 milyar Euro ve Avrupa Birliği 11 milyar Euro düzeyinde harcama gerçekleştirmiştir (European Defence Agency, 2024: 11). Bununla birlikte havacılık, uzay ve savunma sanayi alanındaki kritik teknoloji araştırmalarında Çin lider konumdadır. Tablo 1'de hipersonik uçak motorları, otonom sistemler, gelişmiş robotik ve drone teknolojileri gibi savunma ve uzay alanlarında Çin'in yoğun bir şekilde araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürüttüğü açıkça görülmektedir. Özellikle Çin'in yüksek etkili araştırmaların önemli bir bölümüne sahip olması, bu alanlardaki uzun vadeli stratejik planlamasını ve Ar-Ge yatırımlarını başarılı bir şekilde hayata geçirme potansiyelini göstermesi bakımından önemlidir. Bu kritik teknolojilerdeki ilerlemede ABD liderlik pozisyonunu kaybetmiş durumdadır. Ayrıca Hindistan, İran ve Güney Kore, bazı kritik teknolojilerde önemli ilerleme kaydetmiştir. Tablo 1'de ilk beş içerisinde yer alan ülkelerin mevcut katkısı dikkate alındığında, Çin ve ABD gibi iki güce bağımlılık söz konusudur.

Tablo 1. Savunma, havacılık ve uzay araştırmalarında en iyi 5 ülke

Kritik Teknolojiler	Yüksek Etkili Araştırma Üreten İlk Beş Ülke (%)
Gelişmiş uçak motorları (hipersonik dâhil)	Çin %48,5, ABD %11,7, Hindistan %7,0, Birleşik Krallık %3,9, İran %3,6
Dronlar, sürü ve iş birliğine dayalı robotlar	Çin %36,1, ABD %10,3, İtalya %6,1, Hindistan %5,2, Birleşik Krallık %4,5
Küçük uydular	ABD %24,5, Çin %17,3, İtalya %7,8, Almanya %4,4, Birleşik Krallık %4,1
Otonom sistem işletim teknolojisi	Çin %26,2, ABD %21,0, Birleşik Krallık %5,3, Almanya %5,1, Güney Kore %3,6
Gelişmiş robotik	Çin %27,9, ABD %24,6, Birleşik Krallık %5,5, İtalya %4,8, Güney Kore %3,8
Uzay fırlatma sistemleri	ABD %19,7, Çin %18,2, Almanya %9,8, Kanada %8,2, Güney Kore %6,5

Kaynak: (Gaida ve diğerleri, 2023)

3.2. Türk Savunma ve Havacılık Sanayi

Türk savunma ve havacılık sanayisinin gelişimi, 1921'de Askeri Fabrikalar Genel Müdürlüğü'nün kurulmasıyla başlamıştır. 1945'e kadar yerli altyapının temelleri atılmış, tersane, uçak ve motor fabrikalarında önemli gelişmeler sağlanmıştır. 1950-1974 dönemi, savunma sanayisinin kurumsallaşması açısından kritiktir. Bu dönemde MKE'nin askeri fabrikaları bünyesine alması ve Savunma Bakanlığı bünyesinde Ar-Ge Daire Başkanlığı'nın kurulmasıyla merkezi koordinasyon sağlanmıştır. 1974-1985 yılları arasında güçlendirme vakıfları aracılığıyla ASELSAN, HAVELSAN, ASPILSAN ve TUSAŞ gibi önemli şirketler kurulmuştur. Bu kurumlar aracılığıyla dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenmiştir. 1985-2006 döneminde Savunma Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı kurulmuştur. Yabancı ortaklıkları projeler geliştirilmiş ve yerli özel sektörün katılımıyla teknolojik kapasite genişletilmiştir. 2006 sonrası dönemde ise MİLGEM Korveti, Altay Tankı, Atak Helikopteri, Anka ve Bayraktar İHA'ları, Hürkuş, Hürjet ve Kaan gibi projelerle teknolojik ve askeri bağımsızlığını artırarak uluslararası savunma sektöründe önemli bir aktör haline gelmiştir (Savunma Sanayi Başkanlığı, 2025).

Türkiye bu uzun vadeli çalışmaları ile savunma ve havacılık sanayi stratejisini köklü bir şekilde dönüştürmüştür. Geleneksel ithalat temelli tedarik ve modernizasyon yaklaşımından, stratejik özgünlük ve teknolojik bağımsızlık hedefleyen bir modele geçiş yapılmıştır. Böylece hem kamu hem de özel sektör yatırımlarının artırılması yoluyla sanayinin yüksek katma değerli ve nitelikli projeler geliştirmesi teşvik

edilmiştir. Araştırma-geliştirme faaliyetleri ve yerli ürün geliştirme yoluyla yenilikçi bir endüstriyel kapasite inşası amaçlanmıştır. Savunma ve havacılık sanayisinde yerli ekosistemin teknolojik kapasitesini geliştirmek için sürekli ve sistemli yatırımlar yapılmaktadır. Bu önemli çabalara rağmen, hedeflenen yerleştirme düzeyine tam olarak ulaşamamıştır. Özellikle, alt sistem, sistem ve platform düzeyinde ürünler ile önemli birçok yüksek teknoloji bileşeni ve ara üründe dışa bağımlılığın azaltılması stratejik öneme sahiptir.

3.3. Üretim Faktörleri

3.3.1. İşgücü

1776 yılında Adam Smith, “An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations” adlı eserinde yetenek ve fiziki sermayenin ülkelerin refahı için önemli faktörler arasında yer aldığını ifade etmiştir. O tarihten günümüze kadar ülkelerin refahında beşeri sermayenin rolü giderek daha önemli hale gelmiştir (Kubicek, 2022). Becker ve Gartner gibi teorisyenler, işgücünün niteliksel özellikleri ile işin gerektirdiği beceri setlerinin üretim süreçlerindeki başarının temel belirleyicileri arasında olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacılar ayrıca bir çalışanın yetkinliğinin, üretim sürecinde verimlilik artışı açısından kritik bir faktör olduğunu belirtmiştir (Acemoglu, 2011: 5).

Henry Kissinger, 1957 yılında “Strategy and Organization” adlı çalışmasında, askeri stratejilerin teknolojik ve mali güç çerçevesinde belirlenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu yaklaşım, savunma ve güvenlik politikalarının sadece askeri kapasiteye değil, aynı zamanda teknolojik yenilikçiliğe ve ekonomik kaynakların etkin kullanımına dayandırılması gerektiğini vurgulamaktadır. Temel araştırmalardan uygulamalı teknolojilere kadar uzanan süreçte bilim insanları, mühendisler ve teknik personelin yenilikçi çözümler üretme kapasitesi, ulusal güvenliğin temel dayanak noktasını oluşturmaktadır. Özellikle bilim insanlarının inovasyon ve yenilik üretme yetkinliği, ulusal güvenlik kapasitesinin en önemli stratejik bileşenleri arasında yer almaktadır (McKean ve diğerleri, 1960: 1).

Birleşik Krallık'ta 2020 yılında yayımlanan bir çalışma, inovasyon alanında küresel başarının temel unsurlarını ortaya koymaktadır. Söz konusu belgede, yüksek nitelikli bir Ar-Ge işgücüne sahip olmanın ve bu işgücünün yetkinliklerinin sürekli geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır (Belt ve diğerleri, 2021: 4). Başka bir çalışmada ise Avrupa Birliği'nde entegre bir savunma politikasının eksikliğinin savunma harcamalarında önemli bir verimsizliğe yol açtığı iddia edilmiştir. Bu verimsizliğin, potansiyel olarak yaklaşık 300 bin istihdam fırsatının kaçırılması ile sonuçlandığı iddia edilmiştir (Fernandes ve Centrone, 2024: 17).

Savunma sanayi projeleri, diğer endüstrilerde kullanılmayan, yalnızca savunma sektörüne özgü teknik becerilere ihtiyaç duyan özelleştirilmiş ve karmaşık uygulamaları kapsar. (Hartley, 2012: 14). Teknolojik uygulamalar operasyonel gereksinimlerden teknolojik çözümlere ve nihai ürün geliştirmeye kadar uzanan bir değer zinciri oluşturmaktadır. Askeri personelin saha deneyimlerine dayalı operasyonel ihtiyaç analizleri, araştırmacılar ve bilim insanlarının teorik ve uygulamalı araştırma-geliştirme faaliyetlerine yön vermektedir. Bu süreçte elde edilen teknolojik kazanımlar, mühendislik disiplinleri tarafından kullanım amacına uygun sistem ve ürünlere dönüştürülmektedir. Ardından bu sistemlerin operasyonel test ve değerlendirmeleri yine askeri personel tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu döngüsel süreç sürekli iyileştirme ve optimizasyon imkânı sağlamaktadır. Dolayısıyla savunma sanayisinde teknoloji ve ürün geliştirme süreçlerinin başarısı, farklı uzmanlık alanlarının etkileşimine ve her bir disiplinin kendine özgü katkısının sistematik bir şekilde entegre edilmesine bağlıdır (Jermalavičius, 2009: 25). Ayrıca savunma teknolojilerinin gelişim ve üretim süreçlerinin uzun vadeli doğası, sistemin sürdürülebilirliği açısından kritik gereklilikleri beraberinde getirmektedir. Stratejik planlama aşamasından askeri programların olgunlaşmasına kadar geçen zaman 25 yıl ve ötesine uzanan bir zaman dilimine yayılmaktadır. Bu uzun vadeli perspektif içerisinde nitelikli işgücünde devamlılığının sağlanması ve sürekli gelişiminin desteklenmesi, savunma sanayisinin temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır.

3.3.2. Teknoloji ve Ürün Geliştirme

Teknoloji ve ürün geliştirme, savunma ve havacılık alanında yerleşmeyi arttırmanın ve dışa bağımlılığı azaltmanın temel kaynağıdır. Aynı zamanda rekabet gücünün yükseltilmesi ve uzun vadeli teknolojik kapasitenin oluşturulmasında da kritik bir rol oynamaktadır. Teknoloji geliştirme, teorik bilgi ve/veya pratik deneyimlerden faydalanarak bir problemi çözmek, kavramsal bir fikri hayata geçirmek veya var olan çözümleri iyileştirmek amacıyla yapılan iyileştirmelerle ilerleyen, yenilikçi ve yaratıcı araştırma-geliştirme faaliyetlerinin bütünüdür (Aristodemou ve diğerleri, 2019; Aslan, 2023: 89; Oswald, 2014: 25; Stig, 2015: 7). Ürün geliştirme ise temel ve uygulamalı araştırmalar sonucunda elde edilen teknolojilerin, bir ihtiyacı karşılamak amacıyla ticari değer oluşturan mal ve hizmetlere dönüştürülmesi sürecidir. Bu süreç, mevcut veya yeni teknolojileri, pazar ihtiyaçlarını karşılayan somut çözümlere dönüştürmeyi hedefler. Fikir aşamasından başlayarak üretim, pazarlama ve ticarileştirme gibi kapsamlı aşamaları içeren ürün geliştirme süreci, müşteri geri bildirimleri ve pazar araştırmalarını temel alarak ilerler. Bu dönüşüm süreci, araştırma-

geliştirme faaliyetleri, mühendislik uygulamaları, üretim teknolojileri ve pazarlama faaliyetlerinin bütünleşik bir şekilde yönetilmesini gerektirir (Nobelius, 2002: 8; Ulrich ve Eppinger, 2016: 2; Walsh, 1992).

Teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme süreçleri birbirleriyle yakından ilişkili olsa da aralarında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Teknoloji geliştirme, geniş kapsamlı hedeflerle yola çıkan ve teknolojinin farklı uygulama alanlarını keşfetmeyi amaçlayan bir süreçtir. Bu süreçte yeni bilgiler elde edilir. Teknolojinin sürecin bir çıktısı olarak görüldüğü bu aşamada belirsizlik ve risk düzeyi oldukça yüksektir. Öte yandan ürün geliştirme süreci, mevcut bir teknolojinin belirli bir ürüne uygulanmasını hedefler. Bu nedenle daha sınırlı hedeflere sahiptir. Kâr odaklı bir yaklaşımla yürütülen bu süreçte teknoloji geliştirme aşamasında elde edilen bilgiler kullanılır. Teknoloji, artık, sürecin bir girdisi konumundadır. Ürün geliştirme sürecinde belirsizlik ve risk düzeyi, teknoloji geliştirme sürecine kıyasla daha düşüktür (Aslan, 2023: 104).

Savunma ve havacılık sanayinde ürün ve teknoloji geliştirme süreçleri, ülkelerin sahip olduğu teknolojik bilgi, altyapı ve kapasite düzeyine bağlı olarak farklı stratejiler gerektirir. Teknolojik bilgi ve kapasitenin sınırlı olduğu durumlarda, teknoloji transferi, taklit ve uluslararası iş birliği modelleri genellikle tercih edilen stratejilerdir. Bu yaklaşımlar, teknolojiye hızlı erişim ve ekonomik büyümeye katkı sağlar. Ancak, bu stratejilerin uzun vadede teknoloji bağımlılığı yaratma riski taşımakta ve yenilikçi kapasitenin gelişimini sınırlayabilmektedir. Bu tür ülkelerde genellikle ürün geliştirme faaliyetleri, mevcut teknolojilerin yerel ihtiyaçlara adapte edilmesi, montaj, bakım veya küçük çaplı iyileştirmeler üzerine yoğunlaşır. Buna karşılık, yüksek teknolojik bilgi ve yeterli kapasiteye sahip ülkeler, sistem ve platform düzeyinde özgün teknolojiler ve ürünler geliştirme kabiliyetine sahiptir. Bu ülkeler, araştırma ve geliştirme yatırımlarını arttırarak küresel düzeyde savunma kapasitesini güçlendiren yenilikçi çözümler üretirler (Shuang-hong ve diğerleri, 2006).

Savunma ve havacılık sanayisinde uçak, füze, gemi ve tank gibi karmaşık platformların geliştirilmesi, teknolojinin birikimsel ilerlemesine dayanmaktadır. Bu tür platformlar, her yeni nesilde önceki teknolojilerin üzerine inşa edilerek daha gelişmiş ve çok yönlü hale getirilmektedir (Belin ve Guille, 2019: 13). Bu durumu en iyi açıklayan örneklerden biri Çin'in hipersonik füze sistemlerinde gösterdiği ilerlemedir. Hipersonik füzelerin geliştirilmesi ancak yeni malzemeler, kaplama ve üretim süreçlerinde sağlanan teknolojik ilerlemelerin sonucunda gerçekleşmiştir (Gaida ve diğerleri, 2023: 17). Bununla birlikte artan teknolojik karmaşıklık ve entegre sistemlerin gerekliliği, geliştirme süreçlerinin maliyetlerini de önemli ölçüde arttırmaktadır (Belin ve Guille, 2019: 13).

4. YÖNTEM

4.1. Cobb-Douglass Üretim Fonksiyonu

Bir firmanın üretim kapasitesini, rekabet gücünü ve kârlılık hedeflerinin belirlenmesi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar; üretim fonksiyonu, üretime yönelik talep, işgücü ve sermaye kullanımına ilişkin kararlar ile firmanın stratejik karar alma süreçleri ve seçimleridir (Hoch, 1958). Bu kararların rasyonel olarak alınması, ancak ampirik verilere dayalı, sistematik ve analitik yaklaşımların benimsenmesiyle mümkündür. Üretim süreçlerinin matematiksel olarak modellenmesi ve faktör verimliliklerinin ölçülmesi için Cobb-Douglas üretim fonksiyonu gibi niceliksel yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Cobb-Douglas üretim fonksiyonu, üretim süreçlerindeki girdi-çıkı ilişkilerinin etkin bir şekilde modellenmesinde kullanılan önemli bir matematiksel yaklaşımdır (Srivastava ve Singh, 1989). Bu yaklaşım ekonomik teoriyle uyumlu olup uzun süredir farklı çalışmalarda tercih edilmektedir (Diwan, 1968). Temel amaç, üretim süreçlerinin ve faktörlerinin üretim üzerindeki etkilerini analiz etmektir.

Yöntem, Büyük Buhran'ın hemen öncesinde, Charles Cobb ve Paul Douglas tarafından ABD imalat sektörüne ait yaklaşık 20 yıllık verilere dayandırılarak geliştirilmiştir. Model, iki temel özelliğe sahiptir. Birincisi logaritmik dönüşümler sayesinde farklı ölçek birimlerine sahip değişkenleri aynı standarda getirir. Böylece aralarındaki ilişkileri daha tutarlı şekilde analiz edebilir. İkincisi, veriler çok geniş bir aralıkta yayılsa bile logaritmik form kullanarak güvenilir ve istikrarlı tahminler üretebilir (Srivastava ve Singh, 1989). Bu yöntem üretim sürecinin temel yapısını anlamamıza yardımcı olurken, bir üretim faktöründeki değişimin diğer faktör sabitken üretim miktarını nasıl etkilediğini gösterir (Kleyn ve diğerleri, 2017).

Cobb-Douglas üretim fonksiyonu emek ve sermayeyi dikkate alan modellerin yanında emek, sermaye ve teknolojik değişimi dikkate alan modeller şeklinde ifade edilebilmektedir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun analizi sonucunda iki önemli katsayı elde edilir. Bu katsayılardan ilki, işgücünün üretim üzerindeki etkisi, ikincisi ise sermayenin üretim üzerindeki etkisidir. İşgücü girdisi verileri genellikle üretim sürecine dahil olan çalışanların toplam sayısı ile ifade edilir (United Nations, 1990: 416). Cobb-Douglas üretim fonksiyonu Eşitlik 1 ve 2 ile ifade edilir.

$$Y(t) = F[K(t), L(t), A(t)] \quad (1)$$

$$Y(t) = A_t K_t^\alpha L_t^\beta \quad (2)$$

Burada, Y , çıktı/üretim miktarını; K_t , sermaye miktarını; L_t , işgücü miktarını; A_t , teknolojik ilerleme ve diğer

üretim dışı verimlilik faktörlerini ($A>0$); α , sermayenin üretime katkısını, β , işgücünün üretime katkısını göstermektedir. Cobb-Douglas üretim fonksiyonunda ölçek getirileri, α ve β parametrelerinin toplamıyla belirlenir (Eşitlik 3-5). Burada,

$$\alpha + \beta = 1 \quad (3)$$

$$\alpha + \beta > 1 \quad (4)$$

$$\alpha + \beta < 1 \quad (5)$$

koşulu varsayılmaktadır. Bu kısıtlar, üretim fonksiyonunun ölçeğe göre sabit, artan ve azalan getiriye sahip olduğunu gösterir. Eşitlik 3'te sabit ölçek getirileri varsayımında, tüm üretim faktörlerinin aynı oranda artırılması durumunda çıktı miktarı da aynı oranda artış göstereceği varsayılır. Eşitlik 4'te artan ölçek getirileri varsayımında tüm üretim faktörleri aynı oranda artırıldığında, çıktı miktarı bu orandan daha fazla artmaktadır. Eşitlik 5'te azalan ölçek getirileri varsayımında ise tüm üretim faktörleri aynı oranda artırıldığında çıktı miktarı bu orandan daha az azalacağını ifade eder (Josheski ve diğerleri, 2011 ; Kleyne ve diğerleri, 2017: 4-5; KPMG, 2016: 29; Parham ve Segarajasekeran, 2016: 23).

Eşitlik 1'de ifade edilen Cobb-Douglas üretim fonksiyonu temel alınarak, Eşitlik 6'daki model tahmin edilmiştir.

$$\ln Y_t = \ln A_t + \alpha \ln E_t + \beta \ln T O_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

Eşitlik 6'da çıktı (Y_t) değişkeni, t zamanında savunma ve havacılık sanayisinin cirosunun doğal logaritmasını, ($T O_t$) değişkeni, t zamanında ürün ve teknoloji geliştirme harcamalarının doğal logaritmasını, (E_t) değişkeni t zamanında çalışan sayısının doğal logaritmasını göstermektedir. Ayrıca $\ln A_t$ toplam faktör verimliliğini veya teknolojik gelişmeyi temsil ederken, α ve β katsayıları sırasıyla sermaye ve işgücünün çıktı esnekliklerini göstermekte, ε_t ise modeldeki hata terimini temsil etmektedir.

Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun parametrelerinin tahmininde literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yöntem en küçük kareler tahmincisi olup, bu yöntem birçok çalışmada (Fraser, 2002; Khatun ve Afroze, 2016; Osti, 2023; Srivastava ve Singh, 1989) tercih edilmiştir. Ayrıca Srivastava ve Singh (1989) OLS ile birlikte Bootstrap ve Monte Carlo yöntemini kullanırken, Bond ve Söderbom (2005) Monte Carlo simülasyonu yaklaşımını tercih etmiştir.

OLS ve diğer ekonometrik tahmin teknikleri, endüstriyel ölçekte logaritmik dönüşüm uygulanmış Cobb-Douglas üretim fonksiyonunu ve ondan türetilen ters faktör talep fonksiyonlarının parametrelerini tahmin etmede etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kapsamda çalışmada Cobb-Douglas üretim fonksiyonunun tahmininde en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Tahmin sonuçlarının güvenilirliğini test etmek için Bootstrap ve Monte Carlo yöntemlerinden yararlanılmıştır. En küçük kareler yöntemi ile elde edilen başlangıç tahminleri, Bootstrap yöntemi ve Monte Carlo simülasyonları ile farklı senaryolar üretilerek parametre tahminlerinin güven aralıkları ve standart hataları hesaplanmıştır.

4.2. Bootstrap Yöntemi

Ekonometrik modellerde parametre tahminlerinin güvenilirliğini değerlendirmede, güven aralığının dar olması, analizlerde arzu edilen bir durumdur. Bu durum, tahminlerin güvenilirliğini artırır. Zaman serilerinin kullanılması durumunda, analiz için minimum 10 yıllık gözleme ihtiyaç duyulmaktadır (United Nations, 1990: 416). Ancak klasik yöntemlerle güven aralığı hesaplamaları özellikle küçük örneklemelerde yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle özellikle küçük örneklem büyüklüğüne sahip veri setlerinde Bootstrap yöntemi, yeniden örnekleme tekniği kullanarak daha güvenilir tahminler elde edilmesine olanak sağlar (Srivastava ve Singh, 1989). Bootstrap yöntemi bağımsız ve aynı dağılıma sahip örneklerden yeni gözlemler oluşturulmasıdır. Gözlenen verilerin ampirik dağılımı Eşitlik 7 ile verilir. P_n , veri setindeki gözlemlerin eşit olasılıklı dağılımını temsil eden bir olasılık dağılımıdır. Bu dağılımda, her bir X_i gözleminin seçilme olasılığı, her bir gözlemin veri setindeki toplam ağırlığa (yani 1'e) olan oranı $1/n$ ile ifade edilir. Bu durum, veri setindeki her bir gözlemin eşit ağırlığa sahip olduğunu ve rassal örneklemede her bir gözlemin seçilme şansının eşit olduğunu gösterir.

$$P_{n(A)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i \in A) \quad (7)$$

θ parametrik bir modelin parametresini gösterir. Parametrik olmayan durumlarda ise parametre, dağılım P 'nin bir fonksiyonu olarak düşünülür ve Eşitlik 8 ile ifade edilir.

$$\theta = T(P) \quad (8)$$

Parametrik olmayan durumlarda ise parametre $\theta = T(P)$, $\widehat{\theta}_n = T(P_n)$ ile tahmin edilir ve bu, yerine koyma tahmincisi olarak adlandırılır. Örneğin, $\theta = T(P) = \int x dP(x)$ ortalama olduğunda, yerine koyma tahmincisi Eşitlik 9 ile ifade edilir.

$$\widehat{\theta}_n = T(P_n) = \int x dP_{n(x)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9)$$

$$X_1^*, \dots, X_n^* \sim P_{n^*} \quad (10)$$

$(X_1^*, \dots, X_n^*)$, orijinal gözlemlerin amprik dağılımına (P_{n^*}) bağlı olarak n adet gözlemin oluşturulması olarak ifade edilir (Wasserman, 2017).

4.3. Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo yöntemi, bilgisayar simülasyonlarına dayalı sayısal bir yöntemdir. Eşitlik 11’de gösterildiği gibi kapalı formda çözilemeyen problemlerin yaklaşık çözümlerini elde etmek için bu yöntem kullanılır. Monte Carlo simülasyonunda, istenen dağılımdan rastgele örnekler üretilir ve bu örnekler kullanılarak ilgili istatistiksel değerler yaklaşık olarak tahmin edilir.

$$I = \int_0^1 e^{x^{-3}} \cdot 1 dx \quad (11)$$

Eşitlik 11’deki integral için kapalı form çözümü olmadığından, klasik integral hesap yöntemleriyle kesin sonuç bulunamaz. Bu yüzden sayısal bir yöntem olan Riemann integrasyonu kullanılır. Eşitlik 11, $\int f(x)p(x) dx$ olarak yazılabilir burada f bir fonksiyon ve p bir olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Eğer $X \sim p(x)$ dağılımından rastgele örnekler alırsak, integral Eşitlik 12’deki gibi yeniden yazılabilir. Burada $p(x)$, x değişkeninin bir olasılık yoğunluk fonksiyonudur.

$$I = \int f(x)p(x) dx \quad (12)$$

$E(f(X))$, X rastgele değişkeninin f(X) fonksiyonunun beklenen değeri olarak Eşitlik 13’teki gibi ifade edilir.

$$\int f(x)p(x) dx = E(f(X)) = I \quad (13)$$

Eşitlik 14, bir integralin beklenen değer biçiminde ifade edilebileceğini göstermektedir. Monte Carlo simülasyonu, bu beklenen değeri rastgele örnekleme ile yaklaşık olarak hesaplamayı amaçlar. Burada $X_1, X_2, \dots, X_N$ bağımsız ve aynı dağılıma sahip (IID) rastgele değişkenlerdir (Chen, 2018).

$$\hat{I}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(X_i) \quad (14)$$

5. BULGULAR

Sektörel analizin temel unsurlarından biri olan sermaye ve işgücü ilişkisi, ekonomik büyümenin dinamiklerini anlamada kritik rol oynamaktadır. Yatırımlar, ekipman ve teknoloji gibi sermaye unsurları ile çalışanlardan oluşan işgücü arasındaki etkileşim ve denge halindedir. Bu denge sektörel performansı doğrudan etkilemektedir. Bu kapsamda çalışmada iki ayrı model kullanılmıştır. İlk modelde sermaye faktörü, teknoloji ve ürün geliştirme harcamalarının toplamı olarak incelenmiştir. İkinci modelde ise teknoloji ve ürün geliştirme harcamaları sermaye faktörünün ayrı bileşenleri olarak incelenmiştir.

Model 1:

$$\ln Y_t = \ln A_t + \alpha \ln E_t + \beta \ln T_o_t + \varepsilon_t \quad (15)$$

Model 1’de savunma ve havacılık sanayi sektörünün cirosu (Y_t) bağımlı değişken, istihdam (E_t) ile ürün ve teknoloji geliştirme harcamalarının toplamı (T_o_t) ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmıştır. Sektörün cirosunu etkileyen faktörlerin analizi için logaritmik formda bir regresyon modeli kullanılmıştır.

Analiz sonuçları, bu faktörlerin firma cirosundaki değişimleri açıklamada yüksek bir açıklayıcı güce sahip olduğunu göstermektedir. Tablo 2’deki R^2 değerine göre, modelin bağımsız değişkenler tarafından açıklanan varyans oranı oldukça yüksektir. Model genel olarak güçlü bir açıklayıcı güce sahiptir. Bu bulgular, bağımsız değişkenlerin savunma ve havacılık sanayi sektöründe cironun değişimini açıklama gücünün yüksek olduğunu doğrulamaktadır. Önceki çalışmalar, zaman serisi analizlerinde bir önceki dönemin hatasının bir sonraki dönemin hatasını etkilediği durumlarda tahmin güvenilirliğinin azalabileceğini vurgulamaktadır. Ayrıca değişkenler arasında yüksek korelasyon olması durumunda çoklu doğrusal bağlantı sorununun tespit edilebilmesi için Durbin-Watson ve VIF değerlerinin incelenmesi gerektiği belirtilmiştir (Diwan, 1968). Buna göre Durbin-Watson testi sonucu otokorelasyonun varlığına dair herhangi bir sorun olmadığını göstermektedir (Durbin ve Watson, 1971). Bununla birlikte, hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğunu değerlendiren testlerde elde edilen çarpıklık ve basıklık değerleri, modelin hata dağılımının normal dağılıma oldukça yakındır (Kim, 2013). F-istatistiği ve p-değeri modelin genel anlamlılığını güçlü bir şekilde desteklemektedir. Modelin Log-Olasılık değeri dikkate alındığında, olasılık dağılımı modele oldukça iyi uyum sağlamaktadır. Ayrıca, modelin hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğunu değerlendiren Omnibus ve Jarque-Bera testleri, sonuçların hata terimlerinin normal dağılım varsayımını karşılamaktadır. Son olarak, modelin bilgi kriterleri incelendiğinde AIC ve BIC değerlerinin oldukça düşük olup model veri ile iyi uyum sağladığı belirlenmiştir (Jarque ve Bera, 1987).

Tablo 2. Tanısal istatistikleri ve uyum iyiliği göstergeleri (Model 1)

Omnibus:	1,128	Durbin-Watson:	1,798
Omnibus Olasılığı:	0,569	Jarque-Bera:	0,724
Çarpıklık:	0,153	Jarque-Bera Olasılığı:	0,696
Basıklık:	1,836	Koşul Sayısı	351
F-İstatistiği			
R ²	Düzeltilmiş R ²	F-İstatistiği	Olasılığı
0,973	0,946	645,5	1.91e-10
		Log-Olasılık	AIC
		24,369	-42,74
		BIC	-41,28

Tablo 3'teki katsayı tahminleri incelendiğinde, istihdam değişkeninin ve ürün ile teknoloji geliştirme harcamalarının toplamının savunma ve havacılık sanayi sektörünün cirosu üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu görülmektedir. Bu durum, her iki faktörün sektördeki ciroyu artırıcı yönde katkıda bulunduğunu göstermektedir. Standart hata değerleri görece düşük olup, tahminlerin güvenilir ve doğru olduğunu işaret etmektedir. t-değerleri de bağımsız değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu doğrulamaktadır. Bu da hem istihdamın hem de ürün ve teknoloji geliştirme harcamalarının sektörel büyüme üzerinde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Katsayı tahminleri ve istatistiksel anlamlılık düzeyleri (Model 1)

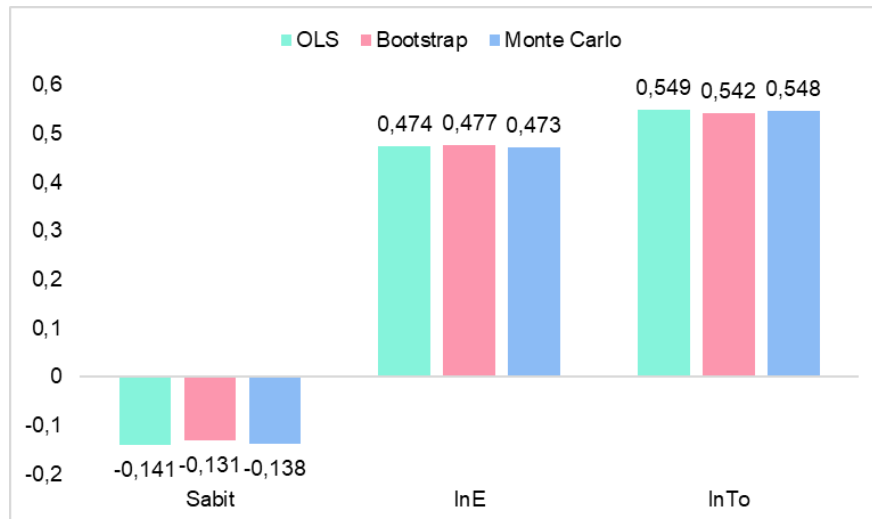
	Katsayı	Std. Hata	t	P> t	[0.025	0.975]
Sabit	-0,141	0,282	-0,501	0,628	-0,779	0,497
lnE	0,474	0,054	8,790	0,000	0,352	0,596
lnTo	0,549	0,064	8,638	0,000	0,405	0,693

Ekonometrik analizlerde farklı tahmin yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılarak modelin güvenilirliği değerlendirilebilir. Bu bağlamda, Monte Carlo ve Bootstrap yöntemleri kullanılarak elde edilen katsayı tahminleri Tablo 4'te sunulmuştur. Sabit terim için her iki yöntemde de tahminler, OLS sonuçlarıyla tutarlılık göstermektedir. İstihdam değişkeni açısından her iki simülasyon yöntemi de OLS katsayı tahminleriyle uyumludur. Monte Carlo yöntemi, dar güven aralıkları sayesinde daha kesin tahmin sonuçları vermiştir. Bootstrap yöntemi ise daha geniş güven aralıkları üreterek tahminlerdeki belirsizliği ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, ürün ve teknoloji geliştirme harcamaları değişkeni için elde edilen simülasyon sonuçları da OLS tahminleriyle uyumludur ve her iki yöntemde de değişkenin etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 4. Monte Carlo ve Bootstrap simülasyon sonuçları (Model 1)

Yöntem	Parametre	Ortalama	Alt Sınır (%95)	Üst Sınır (%95)
Monte Carlo	Sabit	-0,138	-0,614	0,341
	lnE	0,473	0,384	0,564
	lnTo	0,548	0,440	0,656
Bootstrap	Sabit	-0,131	-0,792	0,539
	lnE	0,477	0,362	0,613
	lnTo	0,542	0,386	0,669

İki farklı yöntemin benzer sonuçlar vermesi, bulguların sağlam olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak hem Monte Carlo hem de Bootstrap tahminleri, OLS tahminlerini (Şekil 2) doğrulamakta ve parametre tahminlerinin güvenilirliğini artırmaktadır.

**Şekil 2. Model 1 için katsayı değerlerinin karşılaştırılması**

Model 2:

Her ölçüm sistemi, kendi içinde belirli sınırlamalara ve kısıtlamalara sahiptir. Bu durum, analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kaçınılmaz olarak bir miktar sübjektiflik ortaya çıkarabilir. Özellikle karmaşık sistemlerde, tek bir faktöre odaklanmak yerine, sonuçları etkileyen tüm değişkenlerin bir arada değerlendirilmesi kritik önem taşır (KPMG, 2016). Bu kapsamda, sektörün performansını incelemek amacıyla geliştirilen ikinci modelde, sektörün cirosunu (lnY) etkileyebilecek üç temel faktör incelenmiştir: istihdam düzeyi (lnE), teknoloji geliştirme harcamaları (lnTD) ve ürün geliştirme harcamaları (lnPD). Tüm değişkenlerin logaritmik dönüşümleri kullanılarak, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmayan yapısı kontrol altına alınmış ve esneklik yorumlamalarına olanak sağlanmıştır.

$$\ln Y_t = \ln A_t + \alpha \ln E_t + \beta \ln TD_t + \theta \ln PD_t + \varepsilon_t \quad (16)$$

Model 2 kapsamında, modelin tahmin edilen katsayıları, güven aralıkları ve istatistiksel anlamlılık düzeylerini gösteren sonuçlar Tablo 5, 6 ve 7'de sunulmuştur. Tablo 5'deki sonuçlara göre model yüksek açıklayıcı güce sahiptir. R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamada oldukça güçlü olduğunu ve genel geçerliliğinin yüksek seviyede olduğunu işaret etmektedir. Modelin genel anlamlılığını ölçen F-istatistiği ve ilgili p-değeri istatistiksel olarak son derece anlamlıdır. Durbin-Watson testi sonuçları, modelde otokorelasyon sorunu olmadığını göstermektedir. Omnibus ve Jarque-Bera testleri, hata terimlerinin normal dağılıma yakın olduğunu göstermektedir. Çarpıklık ve basıklık değerleri de hata terimlerinin normal dağılıma uygunluğunu desteklemekte olup modelin tahminlerinin güvenilirliğini arttıran önemli bulgular sunmaktadır. Modelin veri uyumu Log-Olasılık değeri ile değerlendirilmiş ve modelin veriye oldukça iyi uyum sağlamıştır. Model karşılaştırmalarında kullanılan AIC ve BIC değerlerinin düşük çıkması, modelin uygun bir karmaşıklık düzeyine sahip olduğunu ve gereksiz parametre kullanımından kaçınıldığını göstermektedir (Weiß, ve Göker, 2011:168).

Tablo 5. Tanısal istatistikleri ve uyum iyiliği göstergeleri (Model 2)

Omnibus:	1,157	Durbin-Watson:	1,157			
Omnibus Olasılığı:	0,561	Jarque-Bera (IB):	0,735			
Çarpıklık:	0,164	Jarque-Bera Olasılığı:	0,692			
Basıklık:	1,833	Koşul Sayısı:	392			
R2	Düzeltilmiş R2	F-İstatistiği	F-İstatistiği Olasılığı	Log-Olasılık	AIC	BIC
0,975	0,950	500,4	1,94e-09	25,971	-43,94	-42,00

Tablo 6'daki katsayılar incelendiğinde, sabit terimin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Bu sonuç, sabit terimin bağımlı değişken üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını ortaya koymaktadır. İstihdam değişkeni dar bir güven aralığında, pozitif ve yüksek düzeyde anlamlı bir katsayıya sahiptir. Bu, istihdam seviyesindeki artışların bağımlı değişkeni pozitif yönde güçlü bir şekilde etkilediğini ortaya koymaktadır. Değişkenin yüksek t-istatistiği ve oldukça düşük p-değeri, modeldeki en güçlü açıklayıcı değişkenlerden biri olduğunu göstermektedir. Ürün geliştirme harcamaları değişkeni de benzer şekilde pozitif ve yüksek düzeyde anlamlı bir etkiye sahiptir. Dar güven aralığı ve güçlü istatistiksel göstergeler, bu değişkenin bağımlı değişken üzerinde istikrarlı ve önemli bir açıklayıcı güce sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Modelde, istihdam değişkeni ile birlikte en etkili açıklayıcı değişkenler arasında yer almaktadır. Teknoloji geliştirme harcamaları değişkeni ise diğer iki açıklayıcı değişkene göre daha düşük ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Güven aralığının pozitif değerler içermesi ve anlamlılık testleri, bu değişkenin modelde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bu değişken, modelin açıklayıcı gücüne katkı sağlayan üçüncü faktördür.

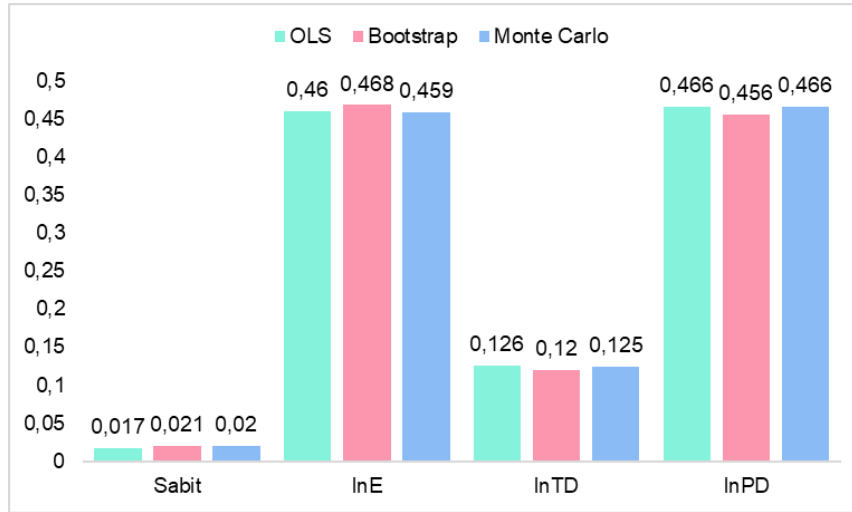
Tablo 6. Katsayı tahminleri ve istatistiksel anlamlılık düzeyleri (Model 2)

	Katsayı	Std. Hata	t	P> t	[0,025	0,975]
Sabit	0,017	0,273	0,064	0,951	0,611	0,646
lnE	0,460	0,051	9,059	0,000	0,343	0,578
lnTD	0,126	0,035	3,632	0,007	0,046	0,205
lnPD	0,466	0,050	9,258	0,000	0,350	0,582

Tablo 7'deki Monte Carlo ve Bootstrap simülasyon sonuçları incelendiğinde, her iki yöntemin de OLS tahminleriyle tutarlı bulgular ürettiği görülmektedir (Şekil 3). Sabit terim, istihdam, teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme harcamaları için elde edilen güven aralıkları OLS katsayılarını kapsamaktadır. Yöntemler arasında küçük farklılıklar bulunsa da güven aralıklarının örtüşmesi, model katsayılarının güvenilirliğini ve tahminlerin tutarlılığını doğrulamaktadır. Bu bulgular, farklı tahmin yöntemlerinin tutarlı sonuçlar verdiğini ve modelin güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 7. Monte Carlo ve Bootstrap simülasyon sonuçları (Model 2)

Yöntem	Parametre	Ortalama	Alt Sınır (%95)	Üst Sınır (%95)
Monte Carlo	Sabit	0,020	-0,419	0,459
	lnE	0,459	0,377	0,540
	lnTD	0,125	0,070	0,180
	lnPD	0,466	0,387	0,547
Bootstrap	Sabit	0,021	-0,721	0,547
	lnE	0,468	0,366	0,652
	lnTD	0,120	0,027	0,211
	lnPD	0,456	0,318	0,567

**Şekil 3. Model 2 için katsayı değerlerinin karşılaştırılması**

Her iki model de bağımsız değişkenler tarafından oldukça yüksek açıklayıcılığa sahiptir. Hata terimleri normal dağılıma uygun olup, otokorelasyon sorunu bulunmamakta ve genel olarak güvenilir tahminler üretmektedir. Modelin elde edilen sonuçları, tahminleme açısından istatistiksel olarak sağlam ve tutarlı olup, ekonometrik modelleme için güvenilir bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ekonometrik analiz ile savunma ve havacılık sanayisinde üretim faktörlerinin ciro üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, istihdam ile ürün ve teknoloji geliştirme harcamalarının sektörün büyümesinde kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır. Model 1’de, istihdam ile ürün ve teknoloji geliştirme harcamalarındaki %100’lük artış, cironun %102,3 oranında yükselmesine yol açmaktadır. Model 2’de ise istihdam, teknoloji geliştirme ve ürün geliştirme yatırımlarındaki %100’lük artış, cironun %105,2 oranında artmasını sağlamaktadır. Her iki modelin sonuçları da üretim faktörlerindeki artışın çıktıda daha yüksek bir artışa yol açtığını, yani ölçeğe göre artan getirinin savunma ve havacılık sanayisi için geçerli olduğunu göstermektedir.

Ölçeğe göre artan getiri karakteristiği, kapasite genişlemesi sürecinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Çünkü sektöre yapılan her yatırım yalnızca doğrusal bir çıktı artışı yaratmamakta, aynı zamanda sistem genelinde verimlilik kazanımları üretmektedir. Bu noktada, üretim faktörlerinin plansız değil, stratejik biçimde yönetilmesi belirleyici hale gelmektedir. Stratejik yönetim sayesinde ölçek ekonomisi avantajları en üst düzeye çıkarılabilir ve sektör küresel pazarda hem maliyet hem de teknolojik yetkinlik açısından rekabet avantajı elde edebilir.

Türkiye, ürün geliştirmeye dayalı bir büyüme modeli benimsenmiş olsa da günümüzde teknoloji geliştirme kapasitesinin güçlendirilmesi öncelikli bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır. Katma değer yaratma süreci, yalnızca ürün sayısının artırılmasından değil, yüksek teknoloji ürünlerin geliştirilmesinden geçmektedir. Bu teknolojilerin sürdürülebilir şekilde ticarileştirilmesi, katma değer yaratmanın diğer kritik bileşenini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, ürün ve teknoloji geliştirme harcamalarının optimal dengesinin sağlanması, uzun vadeli rekabet gücü açısından belirleyici olacaktır. Özellikle teknoloji geliştirme kapasitesinin güçlendirilmesi, hipersonik sistemler, yapay zekâ ve robotik gibi öncü alanlarda stratejik üstünlük kazanılmasında önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Aynı zamanda savunma bütçelerinin teknoloji yatırımlarına yönlendirilmesi önemli bir zorunluluktur. Çok yıllık planlama yaklaşımı sayesinde öngörülebilir endüstriyel talep yaratılabilir ve özel sektör yatırımları teşvik edilebilir. Bununla paralel olarak, üçüncü ülkelerle stratejik ortaklıkların geliştirilmesi, iş birliği ve çok taraflı araştırma projeleri aracılığıyla uluslararası iş birliği kapasitesinin artırılmasını mümkün kılacaktır. Böylelikle, tedarik zinciri risklerinin azaltılması, kaynak çeşitlendirmesi ve stratejik bağımlılıkların minimize edilmesi, ulusal güvenlik ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından kritik bir politika kazanımı sağlayacaktır.

Ayrıca, savunma ve havacılık sanayisinde endüstriyel kapasite inşası, çok boyutlu ve sistematik bir yaklaşım gerektiren bir süreçtir. Bu bağlamda üç temel bileşenin ele alınması gerekmektedir. Bunlar nitelikli insan kaynağının geliştirilmesi ve korunması, araştırma ve geliştirme altyapısının tesis edilmesi ve güncellenmesi ile tedarik zincirinin kesintisiz işleyişinin güvence altına alınmasıdır (Hooke, 2005). Bu nedenle politika yapıcıların, uzun vadeli stratejilerinde nadir toprak elementleri ve kritik mineraller alanındaki çeşitlendirme politikaları ile tek kaynak bağımlılığının yaratacağı stratejik riskleri azaltacak gerekli önlemleri alması gerekmektedir.

Sonuç olarak, uzun vadeli planlama, tedarik güvenliği, stratejik ortaklıklar ve inovasyon ekosisteminin desteklenmesi yoluyla hem ulusal güvenlik ihtiyaçları hem de ekonomik kalkınma hedefleri eşzamanlı olarak güçlendirilebilecektir.

Çatışma Beyanı / Conflict of Interest

Yazar tarafından herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No potential conflict of interest was declared by the author.

Fon Desteği / Funding

Bu çalışmada herhangi bir resmi, ticari ya da kâr amacı gütmeyen organizasyondan fon desteği alınmamıştır.

Any specific grant has not been received from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Etik Standartlara Uygunluk / Compliance with Ethical Standards

Yazar tarafından, çalışmada kullanılan araç ve yöntemlerin Etik Kurul izni gerektirmediği beyan edilmiştir.

It was declared by the author that the tools and methods used in the study do not require the permission of the Ethics Committee.



Yazarlar, Verimlilik Dergisi'nde yayımlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

The authors own the copyright of their works published in Journal of Productivity and their works are published under the CC BY-NC 4.0 license.

KAYNAKÇA

- Acemoglu, D., (2011). "Lectures in Labor Economics", MIT Economics Department, <https://economics.mit.edu>, (Erişim tarihi: 10.03.2025).
- Aristodemou, L., Tietze, F., O'Leary, E. and Shaw, M. (2019). "A Literature Review on Technology Development Process (TDP) Models", *Cambridge Working Papers in Economics*, 6, 1-30. <https://doi.org/10.17863/CAM.35692>
- Aslan, F. (2023). "Teknoloji Geliştirme Sürecinin Değerlendirilmesi İçin Olgunluk Modeli Önerisi: ARGE–500 Firmalarının Faaliyet ve Yaklaşımlarına Yönelik Bir Uygulama", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- Başığmez, H. and Onalan, O. (2018). "Estimation of Economic Growth Using Grey Cobb-Douglas Production Function: An Application for US Economy", *Pressacademia*, 7(2), 178-190. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2018.840>
- Belin, J. and Guille, M. (2019). "Innovation Dynamics in Defence Industries", *Disruptive Technology and Defence Innovation Ecosystems*, Editor: Barbaroux, P., Wiley, 1-30. <https://doi.org/10.1002/9781119644569.ch1>
- Belt, V., Ri, A. and Akinremi, T. (2021). "The UK's Business R&D Workforce: Skills, Sector Trends and Future Challenges", www.enterpriseresearch.ac.uk, (Erişim tarihi: 14.03.2025).
- Bond, S. and Söderbom, M. (2005). "Adjustment Costs and the Identification of Cobb-Douglas Production Functions", *Working Paper Series*, Institute for Fiscal Studies, London, <https://doi.org/10.1920/wp.ifs.2005.0504>
- Bower, J. (2018). "Resource Allocation Theory", *The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management*, Editor: Augier, M. and Teece, D.J., Palgrave Macmillan, London, 1445-1448.
- Chen, Y. C. (2018). "STAT 516: Stochastic Modeling of Scientific Data, Lecture 7: Monte Carlo Methods", http://faculty.washington.edu/yenchic/18A_stat516/html, (Erişim tarihi: 10.06.2025).
- Diwan, R. K. (1968). "On The Cobb-Douglas Production Function", *Southern Economic Journal*, 34(3), 410. <https://doi.org/10.2307/1055504>
- Dritsaki, C. and Stamatiou, P. (2018). "Cobb-Douglas Production Function: The Case of Poland's Economy", *Advances in Time Series Data Methods in Applied Economic Research*, Editor: Tsounis, N. and Vlachvei, A., Springer International Publishing, Cham, 465-483.
- Durbin, J. and Watson, G.S. (1971). "Testing for Serial Correlation in Least Square Regression III", *Biometrika*, 58, 1-19.
- European Defence Agency. (2024). "Defence Data 2023-2024", www.eda.europa.eu, (Erişim tarihi: 14.03.2025).
- Fernandes, M. and Centrone, M. (2024). "Improving the Quality of European Spending on Defence: Cost of Non Europe Report", <https://data.europa.eu/doi/10.2861/2105737>, (Erişim tarihi: 14.03.2025).
- Fraser, I. (2002). "The Cobb-Douglas Production Function: An Antipodean Defence?", *Economic Issues*, 7(1), 39-58.
- Gaida, J., Wong-Leung, J., Robin, S. and Cave, D. (2023). "ASPI's Critical Technology Tracker – The Global Race for Future Power", <https://www.aspi.org.au/report/critical-technology-tracker/>, (Erişim tarihi: 14.03.2025).
- Hayami, Y. (1970). "On The Use of The Cobb-Douglas Production Function on The Cross-Country Analysis of Agricultural Production", *American Journal of Agricultural Economics*, 52(2), 327-329. <https://doi.org/10.2307/1237509>
- Hartley, K. (2012). "Defence-Industrial Issues: Employment, Skills, Technology and Regional Impacts", <https://basicint.org/publications/keith-hartley/2012/defence-industrial-issues-employment-skills-technology-and-regional>, (Erişim tarihi: 21.03.2025).
- Hoch, I. (1958). "Simultaneous Equation Bias in the Context of The Cobb-Douglas Production Function", *Econometrica*, 26(4), 566. <https://doi.org/10.2307/1907517>
- Hooke, R. (2005). "The Defence Industry in the 21st Century", https://www.pwc.pl/en/publikacje/defence-industry_ads.pdf, (Erişim tarihi: 21.03.2025).
- Jarque, C.M. and Bera, A.K. (1987). "A Test For Normality of Observations and Regression Residuals", *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 163-172.
- Jermalavičius, T. (2009). "Defence Research & Development: Lessons from NATO Allies", www.icds.ee, (Erişim tarihi: 21.03.2025).
- Josheski, D., Lazarov, D. and Koteski, C. (2011). "Cobb-Douglas Production Function Revisited, VAR and VECM Analysis and a Note on Fischer/Cobb-Douglas Paradox", <https://mpira.ub.uni-muenchen.de>, (Erişim tarihi: 21.03.2025).
- Khatun, T. and Afroze, S. (2016). "Relationship Between Real GDP and Labour and Capital By Applying The Cobb-Douglas Production Function: A Comparative Analysis Among Selected Asian Countries", *Journal of Business Studies*, 37(1), 113-129.

- Kim, H. Y. (2013). "Statistical Notes for Clinical Researchers: Assessing Normal Distribution (2) Using Skewness and Kurtosis", *Restorative Dentistry & Endodontics*, 38(1), 52. <https://doi.org/10.5395/rde.2013.38.1.52>
- Kleyn, J., Arashi, M., Bekker, A. and Millard, S. (2017). "Preliminary Testing of the Cobb-Douglas Production Function and Related Inferential Issues", *Communications in Statistics—Simulation and Computation*, 46(1), 469-488. <https://doi.org/10.1080/03610918.2014.968724>
- KPMG. (2016). "The Role of Capital and Labour in Driving Economic Growth in Australia", <http://www.kpmg.com.au>, (Erişim tarihi: 21.03.2025).
- Kubicek, K. (2022). "Human Capital ROI: The Positive Impact on Business Performance", <https://www.forbes.com/councils/forbeshumanresourcescouncil/2022/09/09/humancapital-roi-the-positive-impact-on-business-performance>, (Erişim tarihi: 21.05.2025).
- Markowski, S., Hall, P. and Dessi, A. (1997). "Defence R&D and the Management of Australia's Defence Technology", *Prometheus*, 15(2). <https://doi.org/10.1080/08109029708632073>
- Mauro, F. and Thoma, K. (2016). "The Future of EU Defence Research", European Parliament. Brussels.
- McKean, R. N., Hitch, C. J., Enke, S., Enthoven, A. C., Hoag, M. W., McGuire, C. B. and Wohlsetter, A. (1960). "The Economics of Defense in the Nuclear Age", *Harvard University Press*. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674865884>
- Nobelius, D. (2002). "Managing R&D Processes: Focusing on Technology Development, Product Development, and Their Interplay", Unpublished Dissertation, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Oswald, W. A. (2014). "Understanding Technology Development Processes Theory & Practice", Unpublished Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Osti, D. (2023). "Returns to Scale with a Cobb-Douglas Production Function for Four Small Northern Italian Firms", <https://impra.ub.uni-muenchen.de/116351>, (Erişim tarihi: 14.04.2025).
- Parham, D. and Segarajasekeran, P. (2016). "IT Use and Australia's Productivity: Where Are We Now?", <https://www.infrastructure.gov.au/sites/default/files/documents/BCR-Digital%20Productivity%20Report-FINAL-8-Feb.pdf>, (Erişim tarihi: 21.05.2025).
- Savunma Sanayi Başkanlığı. (2025). "Savunma Sanayimiz", <https://www.ssb.gov.tr/WebSite/contentlist.aspx?PageID=47&LangID=1>, (Erişim tarihi: 09.04.2025).
- Sheasley, W.D. (1999). "Leading the Technology Development Process", *Research-Technology Management*, 42(3), 49-55. <https://doi.org/10.1080/08956308.1999.11671284>
- Shuang-hong, B., Si-yong, Z. and Rui, S. (2006). "The Analysis on the Technological Advancement Effect in the Defence Industry", *International Conference on Management Science and Engineering (2006)*, Lille, France. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2006.314122>
- Srivastava, M.S., and Singh, B. (1989). "Bootstrapping in Multiplicative Models", *Journal of Econometrics*, 42(3), 287-297. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(89\)90054-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(89)90054-7)
- Stig, D. C. (2015). "Technology Platforms: Organizing and Assessing Technological Knowledge to Support its Reuse in New Applications", Unpublished Dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Torres, J.L. (2020). "The Production of National Defense and the Macroeconomy", *PLOS One*, 15(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240299>
- Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (2016). "Product Design and Development", McGraw-Hill Education, New York.
- United Nations. (1990). "Projection Methods for Integrating Population Variables into Development Planning", New York.
- Vasyl'yeva, O. (2021). "Assessment of Factors of Sustainable Development of the Agricultural Sector Using the Cobb-Douglas Production Function", *Baltic Journal of Economic Studies*, 7(2), 37-49. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2021-7-2-37-49>
- Walsh, V. (1992). "Winning by Design: Technology, Product Design and International Competitiveness", Blackwell Business, Oxford.
- Wang, J., Song, H., Tian, Z., Bei, J., Zhang, H., Ye, B. and Ni, J. (2021). "A Method for Estimating Output Elasticity of Input Factors in Cobb-Douglas Production Function and Measuring Agricultural Technological Progress", *IEEE Access*, 9, 26234-26250. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056719>
- Wasserman, L. (2017). "Statistical Methods for Machine Learning", <https://www.stat.cmu.edu/~ryantibs/statml>, (Erişim tarihi: 21.05.2025).
- Wei, T. (2007). "Impact of Energy Efficiency Gains on Output and Energy Use With Cobb-Douglas Production Function", *Energy Policy*, 35(4), 2023-2030. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.08.009>
- Weiß, M., and Göker, M. (2011). "Molecular Phylogenetic Reconstruction", *The Yeasts*, 159-174. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52149-1.00012-4>

- Yuan, C., Liu, S. and Wu, J. (2009). "Research on Energy-Saving Effect of Technological Progress Based on Cobb-Douglas Production Function", *Energy Policy*, 37(8), 2842-2846. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.025>
- Zhang, Q., Dong, W., Wen, C. and Li, T. (2020). "Study on Factors Affecting Corn Yield Based on the Cobb-Douglas Production Function", *Agricultural Water Management*, 228, 105869. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105869>