

Research Article / Araştırma Makalesi

## TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE AR-GE PERSONELİ ve İHRACAT İLİŞKİSİ: TODA YAMAMOTO NEDENSELLİK ANALİZİ İLE BİR UYGULAMA

Zeynep KARACA<sup>1</sup> 

### ÖZET

Teknolojik inovasyon, sanayileşmenin kilit bir unsuru olarak kabul edilmekte ve bir ülkenin dışı açılma modelinin verimliliğini belirlemektedir. Güçlü bir ihracat sisteminin oluşturulmasında inovasyonun rolü, çeşitli yerli inovasyon kanalları ve uluslararası teknoloji yayılımları ile ilişkilidir. İnovasyonun ihracat üzerindeki etkisi, yurtiçi Ar-Ge çalışmaları ve yurtdışı Ar-Ge'nin teknolojik yayılımları ile ilişkilendirilebilir. Teorik literatürdeki en güçlü fikir birliği, ihracatın genellikle yerli firmaların yenilikçi faaliyetlerinin bir yan ürünü olduğu yönündedir. Bu çalışmada Türkiye'de imalat sanayinde çalışan Ar-Ge personeli sayısı ile ihracatları arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Çalışma 2009-2022 dönemini kapsamaktadır. Nedenselliği test etmek için Toda Yamamoto nedensellik analizi kullanılmış olup hem ihracattan Ar-Ge personeline hem de Ar-Ge personeline ihracata doğru iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Türkiye'nin imalat sanayisinin ihracat rekabet gücünü daha da artırmak için dijital altyapının geliştirilmesine dikkat edilmesi, imalat sektörü ile dijital ekonominin entegrasyonunun optimize edilmesi ve dijital teknoloji inovasyonunda uluslararası işbirliğinin artırılması gibi bazı önerilerde bulunulabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Ar-Ge, Toda Yamamoto, İhracat, İmalat Sanayi.

**JEL Sınıflandırması:** D20,D24,D80.

## THE RELATIONSHIP BETWEEN R&D PERSONNEL AND EXPORT IN TURKEY'S MANUFACTURING INDUSTRY: AN APPLICATION WITH TODA YAMAMOTO CAUSALITY ANALYSIS

### ABSTRACT

Technological innovation is considered a key element of industrialization and determines the efficiency of a country's pattern of opening up. The role of innovation in building a strong export system is related to various channels of domestic innovation and international technology spillovers. The impact of innovation on exports can be associated with domestic R&D efforts and technological spillovers of foreign R&D. The strongest consensus in the theoretical literature is that exports are often a by-product of the innovative activities of domestic firms. This study investigates the causality relationship between the number of R&D personnel working in the manufacturing industry and exports in Turkey. The study covers the period 2009-2022. Toda Yamamoto causality analysis was used to test causality and a bidirectional causality relationship was found both from exports to R&D personnel and from R&D personnel to exports. In order to further increase the export competitiveness of Turkey's manufacturing industry, some suggestions can be made, such as paying attention to the development of digital infrastructure, optimizing the integration of the manufacturing sector and the digital economy, and increasing international cooperation in digital technology innovation.

**Keywords:** R&D, Toda Yamamoto, Export, Manufacturing.

**JEL Classification Codes:** D20,D24,D80.

<sup>1</sup>Doç. Dr., Erzurum Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Erzurum, Türkiye, zeynep.karaca@erzurum.edu.tr

## EXTENDED SUMMARY

### Research Questions & Purpose

Technological innovation is considered a key element of industrialization and determines the efficiency of a country's pattern of internationalization. The role of innovation in building a strong export system is related to various channels of domestic innovation and international technology spillovers. The impact of innovation on exports can be associated with domestic R&D activities and technological spillovers of foreign R&D. R&D activities can lead to lower average costs in existing production processes and improve the quality of products. Moreover, internal R&D activities provide a firm with the basic skills and expertise to increase productivity and move to new product development. On the other hand, R&D activities facilitate the absorptive capacity of enterprises and develop technical skills to internalize and adopt advanced technologies. The learning process driven by R&D is critical for efficient production and exports, especially in developing countries. R&D and exports will directly affect future productivity and therefore it can be said that “current R&D directly affects the probability of exports and current exports change the return to R&D”. So it can be said that there is a reciprocal relationship between the two. Moreover, R&D can be done not only to support innovation, but also to increase a firm's intangible knowledge assets and thus its absorptive capacity (the ability to internalize external knowledge). Based on these relationships between R&D and exports, this study investigates the causality relationship between R&D personnel employed in the manufacturing industry in Turkey and firms' exports.

### Literature Review

Haddoud et al. (2023) investigated the relationships between foreign technology licensing, R&D expenditures, innovation and export intensity of SMEs. Observations of 446 SMEs were analyzed through structural equation modeling. They show that foreign technology licensing, R&D expenditures and innovation will increase export intensity by more than 71%, foreign technology licensing and R&D expenditures significantly affect innovation, and innovation increases export intensity. Çelik (2020), in his co-integration analysis for the Turkish economy, found that the increase in R&D expenditures, the number of patents and the number of personnel employed in R&D will positively affect exports and economic growth. Akar & Topoğlu (2022), in their 2007-2019 study for Turkey, found that patent applications increase exports.

A review of the literature reveals that the causality relationship between R&D expenditures and exports is generally bidirectional. There is also a positive relationship between R&D personnel and patents and exports. Most of the studies for Turkey are country-wide. In this study, with a more micro perspective, the causality relationship between R&D personnel and exports will be investigated only in the manufacturing industry and it is thought to add a different perspective to the literature in this respect. should be written on the left.

### Methodology

In this study, the causality relationship between R&D personnel employed in the manufacturing industry and manufacturing industry exports is investigated for the period 2009-2022 and Toda Yamamoto causality analysis is used for this purpose. The causality analysis method developed by Toda & Yamamoto (1995) allows the analysis of causality for same-order or differently integrated series without the need for the existence of a cointegration relationship. The modified Wald test developed by Toda & Yamamoto is a highly applicable test since it is based on the standard asymptotic distribution and does not require any pretest. In the Toda & Yamamoto causality test, the VAR(p+d) model is estimated, where d is the maximum degree of integration of the series.

### Results and Conclusions

According to the results obtained, there is a bidirectional causality relationship both from R&D personnel to exports and from exports to R&D personnel. In order to further enhance the export competitiveness of Turkey's manufacturing industry, some suggestions include paying attention to the development of digital infrastructure, optimizing the integration of the manufacturing sector and the digital economy, and increasing international cooperation in digital technology innovation. If the government subsidizes R&D or provides other incentives that increase the expected returns from this activity, firms are expected to tend to increase their R&D investments. The bidirectional causality between R&D personnel and export performance can be used as an incentive to increase exports, especially in small countries. Export performance will increase with an abundance of R&D personnel such as engineers and technicians. Exporting is an important way to stimulate innovation and growth of businesses by learning new knowledge and technology. Productive firms are more likely to survive in the export market.

## 1. Giriş

Teknolojik inovasyon, sanayileşmenin kilit bir unsuru olarak kabul edilmekte ve bir ülkenin dışa açılma modelinin verimliliğini belirlemektedir. Güçlü bir ihracat sisteminin oluşturulmasında inovasyonun rolü, çeşitli yerli inovasyon kanalları ve uluslararası teknoloji yayılımları ile ilişkilidir. İnovasyonun ihracat üzerindeki etkisi, yurtiçi Ar-Ge çalışmaları ve yurtdışı Ar-Ge'nin teknolojik yayılımları ile ilişkilendirilebilir. Ar-Ge faaliyetleri mevcut üretim süreçlerinde ortalama maliyetlerin düşürülmesine ve ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesine yol açabilir. Ayrıca, dâhili Ar-Ge faaliyetleri bir firmaya verimliliği artırmak ve yeni ürün geliştirmeye geçmek için temel beceriler ve uzmanlık sağlar. Öte yandan, Ar-Ge faaliyetleri işletmelerin özümseme kapasitesini kolaylaştırır ve ileri teknolojileri içselleştirmek ve benimsemek için teknik becerileri geliştirir. Ar-Ge'nin yol açtığı öğrenme süreci, özellikle gelişmekte olan ülkelerde verimli üretim ve ihracat için kritik öneme sahiptir (Rau & Bao, 2023: 2).

İnovasyon ve ihracat faaliyeti arasındaki ilişki geleneksel olarak ticaret teorisi ve büyüme teorisi çerçevesinde analiz edilmiştir. Son dönem ticaret literatürü, ticaret verilerinde gözlemlenen ampirik düzenlilikleri dikkate almakta ve farklılaşmış ürün piyasalarındaki firma heterojenliğine dayanan, ticari serbestleşmenin ekonomiyi etkilediği farklı mekanizmaları açıklayabilen, firma verimliliğinin içsel artışı da dahil olmak üzere teorik modeller önermektedir. Bu modeller, performans göstergelerine göre ihracatçılar ve ihracatçı olmayanlar arasında gözlemlenen heterojenliği, firmalar ve hedef pazarlar arasında ticarete katılımın farklı modellerini ve ticaretin serbestleşmesini takiben kaynakların endüstri içi yeniden tahsislerini açıklamaktadır. İnovasyon ve ihracat arasındaki ilişki, ticaret ve büyümeyi birbirine bağlayan içsel büyüme literatürüyle de ilişkilidir (Benfratello vd., 2022: 192). Grossman & Helpman (2015) tarafından yapılan bir araştırma, ticaret ve büyüme ile ilişkili olan bilgi yayılımını, piyasa boyutunu ve rekabet yoğunluğunu, göreceli fiyatları ve teknoloji yayılımını tanımlamaktadır.

İhracatçıların ihracat pazarlarında rekabet ettikleri, yabancı teknolojilerden haberdar oldukları ve bunlara yatırım yaptıkları ve yabancı müşterilerin farklı ihtiyaçlarına cevap verdikleri açıktır. Bu durumda, ihracatçılar yabancı bir teknolojiyi özümser ve kendi ülkelerindeki 'bilgi tabanlarını' yükseltirler. Dolayısıyla ihracatın inovasyon üzerindeki varsayılan etkisi olumludur. İnovasyon ve ihracat arasındaki ilişkiyi açıklayan köklü bir teorik literatür bulunmaktadır. Temel araştırma soruları, yenilikçi olmanın bir firmanın ihracat yapmasına neden olup olmadığı, ihracat yapmanın bir firmayı daha yenilikçi yapıp yapmadığı veya nedensel ilişkinin her iki yönde de işleyip işlemediğidir. Teorik literatürdeki en güçlü fikir birliği, ihracatın genellikle yerli firmaların yenilikçi faaliyetlerinin bir yan ürünü olduğu yönündedir. Başka bir deyişle, literatürde daha yüksek inovasyon oranlarının ihracat davranışını teşvik ettiği konusunda genel bir mutabakat vardır. Özellikle, ilk bakış açısı inovasyondan ihracata doğru giden tek yönlü bir ilişki ortaya koymaktadır. Bu sonuca varılmasının arkasındaki sezgi, ürün farklılaştırmasının ve/veya yeniliğin, bir firmanın uluslararası pazarlarda rekabet etmesine olanak tanıyan rekabet avantajlarına dönüştüğüdür. Daha yeni nesil neo-teknoloji modelleri de bu nedensel bağlantıyı desteklemektedir. Sonuç, ülkenin ihracat talep eğrisinde dışa doğru bir kaymadır. Yani inovasyon ve ihracat arasındaki pozitif ilişki, inovasyonun ihracat büyümesini desteklemedeki rolüne işaret etmektedir şeklinde yorumlanabilir.

İnovasyondan ihracata olan nedenselliğin yanı sıra ihracatın inovasyon üzerindeki etkisini belgeleyen paralel bir teorik literatür de mevcuttur. Buradaki fikir, ihracat pazarlarında daha zengin bir teknoloji kaynağına maruz kalmanın, firmaların bilgi tabanlarını geliştirmelerine yol açabileceğidir. Dolayısıyla bir firmanın ihracat eğilimi, Ar-Ge kapasitesini artırmasına ve inovasyon yapmasına yardımcı olabilir. Bu literatür, ihracat yoluyla öğrenme olarak adlandırılan etkileri araştırmaktadır. İhracat yoluyla öğrenme kavramı, içsel inovasyon ve büyüme teorileriyle tutarlıdır (Girma vd., 2008: 751-753).

Lefebvre vd. (1998), Ar-Ge ile ilgili belirli kabiliyetlerin farklı ihracat performansı türlerinin belirleyicisi olduğunu göstermişlerdir. Yani Ar-Ge yapmak firmanın ihracat yapma kararını etkileyecektir. Firmanın ihracat kararını inceleyen bir dizi teorik girişime rağmen (özellikle batık maliyetler) bu çalışmalar bir firmanın verimliliğinin dışsal olduğunu varsaymaktadır. Ancak son zamanlarda, firmaların ihracattan önce verimlilik artırıcı yatırımlara girişmesi ile firmaların bu dışsallıkları içselleştirme çabaları görülmektedir. Ar-Ge ve ihracat gelecekteki üretkenliği doğrudan etkileyecektir ve bu nedenle "mevcut Ar-Ge ihracat olasılığını doğrudan etkiler ve mevcut ihracat da Ar-Ge getirisini değiştirir" denilebilir. Yani ikisi arasında karşılıklı bir ilişki olduğu söylenebilir. Dahası, Ar-Ge sadece inovasyonu desteklemek için değil, aynı zamanda bir firmanın maddi olmayan bilgi varlıklarını ve dolayısıyla firmanın özümseme kapasitesini (dış bilgiyi içselleştirme yeteneği) artırmak için de yapılabilir (Harris & Moffat, 2011: 4). Ar-Ge ve ihracat arasındaki bu ilişkilerden yola çıkarak bu çalışmada Türkiye'de imalat sanayinde istihdam edilen Ar-Ge personeli ile firmaların yaptıkları ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Çalışma 2009-2022 yıllarını kapsamakta olup nedensellik ilişkisini araştırmak için Toda Yamamoto nedensellik analizi tercih edilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde kapsamlı bir literatür özeti yer verilecektir. Daha sonra kullanılan yöntem anlatılacak olup bulgular açıklanacaktır. Son olarak sonuç bölümünde sonuç ve önerilere yer verilecektir.

## 2. Literatür Özeti

Literatür incelendiğinde firmaların yenilikçi kapasitesinin ihracat faaliyeti üzerinde kapsamlı ve pozitif bir nedensel etkisi olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, literatürde önerildiği gibi, farklı inovasyon faaliyeti ölçütleri ile test edilmiştir. Bu ölçütler; Ar-Ge harcamaları veya Ar-Ge çalışanları, teknik ve bilimsel geçmişe sahip çalışanların payı, dış ortaklarla ortak Ar-Ge projelerinin varlığı veya patentlerdir. Literatür özetlenirken bu ölçütler ayrı ayrı ele alınacaktır.

### Ar-Ge Harcamaları ve İhracat Arasındaki İlişkiye Dair Literatür

Hirsch & Bijaoui (1985), Ar-Ge yapan firmaların ihracat eğiliminin, ait oldukları sektörün tamamından daha yüksek olma eğiliminde olduğunu doğrulamışlardır. Elde ettikleri bulgular, Ar-Ge yoğunluğu ile ihracat büyümesi arasında pozitif bir korelasyon olduğu sonucunu desteklemektedir. Zhao & Li (1997), Çin'deki imalat firmalarının geniş bir veri setine dayanarak ihracat eğilimini ve ihracat büyümesini açıklamada Ar-Ge'nin rolünü analiz etmişlerdir. Lojistik ve eşzamanlı analizlerin sonuçları, Ar-Ge'nin hem ihracat eğilimi hem de büyüme üzerindeki etkisinin anlamlı ve pozitif olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, sonuçlar eş zamanlı testlerde Ar-Ge ve ihracat arasındaki karşılıklı ilişkileri ve kârlılık, sermaye yoğunluğu ve göreceli firma büyüklüğü gibi diğer stratejik değişkenlerin ihracat eğilimini ve büyümeyi farklı yönlerde etkilediğini de doğrulamıştır. Neves vd. (2016), çalışmalarında firmaların Ar-Ge'sinin ihracatlarını etkileyip etkilemediğini ve/veya ihracatlarından etkilenip etkilenmediğini ve Ar-Ge ile ihracat arasındaki karşılıklı ilişkinin firmaların performansını etkileyip etkilemediğini değerlendirmektedirler. 2006-2012 döneminde Portekiz'de yerleşik tüm finansal olmayan şirketleri (340 binden fazla) içeren bir veri seti kullanılarak probit modellerine dayalı tahminler yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre Ar-Ge faaliyetlerinde bulunmak firmanın ihracat faaliyetlerinde bulunma olasılığını artıracaktır. Ayrıca, ihracat faaliyetlerinde bulunmak da Ar-Ge faaliyetlerinde bulunma olasılığını artıracaktır. Sonuçlar ayrıca ihracat yoluyla öğrenme hipotezini de desteklemektedir. Carboni & Medda (2020), bir firmanın ihracat performansı ile inovasyon ve maddi yatırımlar arasındaki karşılıklı ilişkileri araştırmışlardır. Çalışma, karşılıklı korelasyonlarını dikkate alan eşzamanlı denklemler çerçevesinde yatırım, inovasyon ve Ar-Ge ile entegre bir model önermektedir. Ekonometrik sonuçlar, hem ürün inovasyonunun hem de maddi yatırımların, Avrupa imalat firmalarının ihracat yoğunluğu ile önemli ölçüde ve birlikte bağlantılı olduğunu göstermektedir. Yaman vd. (2020), 35 OECD ülkesine ait verileri kullanarak yaptıkları araştırmada Ar-Ge harcamalarındaki artışın ileri teknoloji ihracatını artırdığını tespit etmişlerdir. Gan & Cheng (2020), 2000-2010 yılları arasında Çin'deki 26 imalat sanayinin panel verilerini kullanarak yaptıkları çalışmada ulusal paranın değer kazanmasının Ar-Ge yatırımlarını teşvik ederek Çin'in ihracatını artırdığını tespit etmişlerdir. Sey & Aydın (2021), Türkiye ekonomisi için Ar-Ge harcamalarından yüksek teknolojili mal ihracatına doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisinin varlığını ortaya koymuştur. Jitsutthiphakorn (2021), firma düzeyinde yaptığı çalışmada, firma verimliliğinin bir belirleyicisi olarak inovasyonun önemini ve firma verimliliğinin firma ihracatının hayatta kalmasını nasıl etkileyebileceğini araştırmıştır. Filipinler, Endonezya, Vietnam, Laos, Kamboçya ve Myanmar'ı kapsayan çalışmada teknoloji düzeyi, firma büyüklüğü ve ihracatın Ar-Ge harcamaları için önemli faktörler olduğunu göstermiştir. Peters vd. (2022), uluslararası pazarlarda satış yapan Alman imalat firmaları ile sadece iç pazarda satış yapan firmalar arasındaki Ar-Ge yatırımının getirilerindeki farklılıkları incelemişlerdir. Beş yüksek teknoloji imalat sanayi firmalarına ait veriler kullanılarak, bir firmanın Ar-Ge'ye yatırım yapma kararının dinamik bir yapısal modeli tahmin edilmiştir. Sonuçlar, Ar-Ge yatırımının ihracatçı firmalar arasında daha yüksek oranda ürün ve süreç yeniliğine yol açtığını ve bu yeniliklerin ihracat piyasası satışlarında iç piyasa satışlarına göre daha büyük bir ekonomik getiriye sahip olduğunu göstermektedir. Ar-Ge yatırımının bu yüksek getirisinin bir sonucu olarak, ihracatçı firmalar yerli firmalara kıyasla daha sık Ar-Ge yatırımı yapmakta ve bu da içsel olarak daha yüksek verimlilik artışı oranları yaratmaktadır. Haddoud vd. (2023), KOBİ'lerin yabancı teknoloji lisanslama, Ar-Ge harcamaları, inovasyon ve ihracat yoğunluğu arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. 446 KOBİ'nin gözlemleri yapısal eşitlik modellemesi yoluyla analiz edilmiştir. Yabancı teknoloji lisansı, Ar-Ge harcamaları ve inovasyonun ihracat yoğunluğunu %71'den fazla arttıracığını, yabancı teknoloji lisanslama ve Ar-Ge harcamalarının inovasyonu belirgin bir şekilde etkilediğini ve inovasyonun da ihracat yoğunluğunu artırdığını göstermişlerdir.

### Ar-Ge Personeli ve İhracat Arasındaki İlişkiye Dair Literatür

Mariev vd. (2023), Rusya'da imalat sanayi firmalarının ihracat performansını inceledikleri çalışmada personel eğitimi ve farklı inovasyon türlerinin birleştirilmesinin ihracatı artıracığını bulmuşlardır. Vlčková & Stuchlíková (2021), Almanya için yaptıkları çalışmalarında Ar-Ge personeli ve patentlerin firmaların ihracatını artırdığını tespit etmişlerdir. Karakuş & Özen Atabey (2021), 2007-2019 yılları için Türkiye ve 27 AB ülkesinde Ar-Ge personeli ve araştırmacıların payı ile yüksek teknoloji ihracat oranının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Dinamik panel veri analizi yöntemi kullanılarak yapılan araştırmanın sonuçları; Ar-Ge personeli ve araştırmacı sayısı ile yüksek teknoloji ihracatının ekonomik büyüme üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Çelik (2020), Türkiye ekonomisi için yaptığı eş

bütünleşme analizinde Ar-Ge harcamaları, patent sayısı ve Ar-Ge’de istihdam edilen personel sayısındaki artışın ihracat ve ekonomik büyümeyi pozitif yönlü etkileyeceğini bulmuştur.

### Patent ve İhracat Arasındaki İlişkiye Dair Literatür

Yaşar (2020), 52 ülkeye ait verileri kullanarak yaptığı çalışmada Ar-Ge harcamaları ve patent başvurusundaki artışın ihracatı artırdığını tespit etmiştir. Çınar vd. (2021), Türkiye mobilya sektörüne ilişkin verileri inceledikleri çalışmada son 20 yılda yapılan ihracat değerleri ile patent sayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu tespit etmişlerdir. Akar & Topoğlu (2022), 2007-2019 yılları Türkiye için yaptıkları çalışmada patent başvurusunun ihracatı artırdığını tespit etmişlerdir.

Yukarıdaki literatür taraması incelendiğinde Ar-Ge harcamaları ve ihracat arasındaki nedensellik ilişkisinin genellikle iki yönlü olduğu görülmektedir. Yine Ar-Ge personeli ve patent ile ihracat arasında da pozitif yönlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Türkiye için yapılan çalışmaların çoğu ülke genelindedir. Bu çalışmada daha mikro bir bakış açısıyla sadece imalat sanayinde Ar-Ge personeli ile ihracat arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılacak olup bu açıdan literatüre farklı bir bakış açısı katacağı düşünülmektedir.

### 3. Yöntem

Çalışmada imalat sanayinde istihdam edilen Ar-Ge personeli ve imalat sanayi ihracatı arasındaki nedensellik ilişkisi 2009-2022 dönemi için araştırılmış ve bunun için Toda Yamamoto nedensellik analizi kullanılmıştır. Nedensellik analizlerinden bir diğeri olan Granger nedensellik analizi de ampirik analizlerde sıkça kullanılan metotlardan biridir. Fakat sık kullanılmasına rağmen bu analizin bazı eksiklikleri vardır. Granger nedensellik analizi için kullanılacak değişkenlerin durağan olması gerekmektedir. Eğer seriler durağan değilse, test istatistikleri standart dağılıma sahip olmayacağından F testi geçerli olmayacaktır. Bu nedenle, nedensellik analizinin yapılabilmesi için, VAR modelinin farkı alınmış serilerle tahmin edilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, Granger nedensellik testi gecikme sayısına da oldukça duyarlıdır. Dolayısıyla belirlenen gecikme sayısına göre, çok farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle, gecikme sayısının belirlenmesi Granger nedensellik testi açısından büyük önem arz etmektedir. Granger nedensellik analizinin uygulanabilmesi için durağan olmayan serilerin aynı dereceden bütünleşik olmaları ve seriler arasında bir eş bütünleşme ilişkisinin olması gerekmektedir. Ancak Toda & Yamamoto (1995) tarafından geliştirilen nedensellik analiz yöntemi, aynı dereceden veya farklı dereceden bütünleşik seriler için, eş bütünleşme ilişkisinin varlığına ihtiyaç duymaksızın, nedenselliğin analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Toda & Yamamoto tarafından geliştirilen modifiye edilmiş Wald testi standart asimptotik dağılıma dayalı olması ve herhangi bir ön test gerektirmemesi nedeniyle uygulanabilirliği yüksek bir testtir. Toda & Yamamoto nedensellik testinde, d serilerin maksimum bütünleşme derecesi olmak üzere, VAR(p+d) modeli tahmin edilerek gerçekleştirilmektedir.

Böylelikle durağan olmayan seriler arasında bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığının sınanması sağlanmaktadır ve dolayısıyla bir VEC modelinin tahminine gerek olmamaktadır (Çalışkan vd. 2017: 50). Bu testte dikkat edilmesi gereken önemli nokta, değişkenlerin maksimum bütünleşme derecesi modelin uygun gecikme sayısından fazla olmamalıdır.

Toda & Yamamoto nedensellik analizi için denklem 1’de verilen VAR modeli tahmin edilmektedir.

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \dots + A_{p+1} y_{t-p-d} + \mu \quad (1)$$

Denklem 1’de,

- $y_t$ , k değişkenden oluşan bir vektör,
- $v$ , sabit vektörü,
- $\mu$  hata terimleri vektörü,
- $A$  parametreler matrisidir.

Toda & Yamamoto testini yapabilmek için sırasıyla; VAR modeli yardımıyla uygun gecikme uzunluğu belirlenmelidir (k), en yüksek bütünleşme derecesi belirlenmelidir (dmax), ve bu bilgilerden hareketle (k+dmax) sonucu ile Toda Yamamoto denklemi çözülür. Testin hipotezleri;

$H_0$ : Nedensellik yoktur

$H_1$ : Nedensellik vardır şeklindedir.

Çalışmada 2009-2022 yıllarına ait Türkiye imalat sanayinde faaliyet gösteren firmaların ihracat rakamları ve bu firmaların istihdam ettiği Ar-Ge personeli sayısı ele alınmıştır. Her iki veri de Türkiye İstatistik Kurumu’ndan temin edilmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından bu verilerin yayınlandığı yıl aralığı 2009-2022’dir.

### 3.1. Bulgular

Toda Yamamoto nedensellik analizi her ne kadar birim kök sayısına karşı duyarsız olsa da maksimum bütünleşme derecesini tespit etmek için birim kök testinin yapılması gereklidir.

**Tablo 1: Serilerin ADF Birim Kök Test Sonuçları**

	t-istatistik	Prob.*
Ar-Ge personeli	-2.804494	0.0866
İhracat	-2.945367	0.0716

\*Seriler %10 önem düzeyinde birinci dereceden durağandır.

Tablo 1'de yer alan Augmented Dickey- Fuller (ADF) test sonucuna göre Ar-Ge personeli ve ihracat serisi birinci farkında durağan hale gelmektedir. Bu nedenle, maksimum gecikme sayısı (dmax) 1 olarak belirlenmiştir.

Maksimum bütünleşme derecesinin belirlenmesinden sonraki aşamada VAR modeli için optimal gecikme sayısının (k) tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, logaritmik Ar-Ge personeli ve logaritmik ihracat serileri için VAR modeli tahmin edilmelidir. VAR modeli tahmin sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 2. VAR Modeli Sonuçları**

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	8.835775	NA	0.001098	-1.139296	-1.058478	-1.169218
1	34.59375	38.63696*	2.98e-05	-4.765625	-4.523172	-4.855390
2	39.72632	5.987996	2.69e-05*	-4.954387*	-4.550298*	-5.103995*

Tablo 2'de gösterilen VAR modeli sonuçlarına göre belirlenen optimal gecikme sayısı 2'dir. Toda Yamamoto nedensellik testi k+dmax sonucu ile çözülür. Bu değer VAR modeli için belirlenen optimal gecikme sayısına (k=2), değişkenlerin maksimum bütünleşme derecesi (dmax=1) eklenerek belirlenir. Yani Toda Yamamoto nedensellik analizi için gecikme sayısı 2+1=3'tür. Belirlenen bu gecikme sayısına göre Toda Yamamoto nedensellik analizi yapılmış ve buradan hareketle Wald testi yapılarak nedensellik olup olmadığı ve nedenselliğin yönü araştırılmıştır. Wald testi sonuçları Tablo 3 ve Tablo 4'de sunulmuştur.

**Tablo 3. Ar-Ge Personelinden İhracata Doğru Nedensellik Sonucu**

	Değer	Serbestlik Derecesi	Prob.
Ki-kare	22.97376	3	0.0000

**Tablo 4. İhracattan Ar-Ge Personeline Doğru Nedensellik Sonucu**

	Değer	Serbestlik Derecesi	Prob.
Ki-kare	17.21680	3	0.0006

Tablo 3 ve Tablo 4'de görüldüğü gibi her iki nedensellik sınavında prob değeri %1'den küçük olduğu için hem Ar-Ge personelinden ihracata hem de ihracattan Ar-Ge personeline doğru iki yönlü nedensellik olduğu söylenebilir. Türkiye imalat sanayinde ele alınan dönemde literatüre uygun olarak Ar-Ge personeli ile ihracat arasında anlamlı bir nedensellik ilişkisinin olduğu görülmektedir.

### 4. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye imalat sanayindeki firmalarda istihdam edilen Ar-Ge personeli ve firmaların ihracatları arasındaki nedensellik ilişkisi araştırılmıştır. Çalışma 2009-2022 dönemini kapsamakta olup analizler istatistiki paket programda yapılmıştır. Nedensellik ilişkisini test etmek için Toda Yamamoto nedensellik analizi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hem Ar-Ge personelinden ihracata hem de ihracattan Ar-Ge personeline doğru iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmaktadır.

Teknolojik inovasyon, sağlam bir dışa dönük ekonomik kalkınma modelinin yaratılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Dijital ekonomi, imalat sanayinin yüksek kaliteli gelişimi için önemli bir itici güçtür. Ayrıca, düşük ihracat yoğunluğuna sahip firmaların ihracat faaliyetlerine büyük kaynaklar, özellikle de insan kaynakları

ayırmadıkları ve/veya pasif ihracatçı oldukları, dolayısıyla yenilikçi faaliyetlerden daha düşük getiri elde ettikleri ileri sürülebilir.

Yenilikçi firmaların fiyatları belirlemelerine olanak tanıyan piyasa gücüne sahip oldukları varsayılr yani bunlar fiyat yapımcıdır. Yenilikçi olmayan firmalar ise fiyat alıcılarıdır. Yenilikçi olmayan firmanın bakış açısına göre talep veridir. Yenilikçi firmalar ise ürünleri için talep yaratmak zorundadır. Dahası, ürün farklılaştırması yoluyla farklı müşteri grupları arasında fiyat ayrımcılığı yapabilecek konumda oldukları varsayılmaktadır. Bu varsayımlar yenilikçi firmaların neden yenilikçi olmayan firmalara kıyasla çıktılarının daha yüksek bir oranını ihraç etme eğiliminde olacaklarını göstermektedir. En yenilikçi yerli firmalar, farklılaştırılmış ürünleri olanlar ve en ileri teknolojiyi kullananlar ihracatçı olurlar. Yöneticilerden Ar-Ge'den yararlanmaları ve ihracat performanslarını artırmaya çalışırken, araştırma faaliyetleriyle sıkı sıkıya bağlantılı olan maddi yatırımlara ve yenilikçi faaliyetlere odaklanmaları istenmektedir.

Türkiye'nin imalat sanayisinin ihracat rekabet gücünü daha da artırmak için dijital altyapının geliştirilmesine dikkat edilmesi, imalat sektörü ile dijital ekonominin entegrasyonunun optimize edilmesi ve dijital teknoloji inovasyonunda uluslararası işbirliğinin artırılması gibi bazı önerilerde bulunulabilir. Hükümetin Ar-Ge'yi sübvanses etmesi veya bu faaliyetten beklenen getiriyi artıran başka teşvikler sağlaması halinde firmaların Ar-Ge yatırımlarını artırma eğiliminde olması beklenir. Ar-Ge personeli ile ihracat performansı arasında bulunan iki yönlü nedensellik sonucu, özellikle küçük ülkelerde ihracatı arttırmak için bir teşvik olarak kullanılabilir. İhracat performansı; mühendisler, teknisyenler gibi Ar-Ge personelinin bolluğuyla artacaktır. İhracat, yeni bilgi ve teknoloji öğrenerek işletmelerin yenilikçiliğini ve büyümesini teşvik etmenin önemli bir yoludur. Üretken firmaların ihracat pazarında hayatta kalma olasılığı daha yüksektir.

Ayrıca dijitalleşme, işletmelerin ihraç ürünlerinin kalitesinin yükseltilmesini de teşvik edebilir. Dijitalleşme beşeri sermaye kalitesini artırabildiğinden, bu etki ihraç ürün kalitesini de artırır. Zincirleme bir aracılık etkisi ortaya çıkmaktadır. Dijitalleşme, beşeri sermayeyi ve işletmelerin ihracat ürün kalitesini iyileştirmek için finansman kısıtlamalarını hafifletir. Dijitalleşmeyi netleştirerek⇒, finansman kısıtlamalarını hafifleterek⇒, insan sermayesi kalitesini iyileştirerek⇒ ihracat ürün kalitesi ilişkilerini iyileştirerek, yöneticiler işletmelerin uluslararası pazardaki rekabet gücünü artırabilir.

#### **Katkı Oranı Beyanı**

Makale tek yazarlı olup tüm çalışma yazar tarafından yapılmıştır.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

#### **Kaynakça**

- Akar, T., & Topoğlu, E. (2022). The effects of R&D expenditures and patent applications on exports of high technology products and information communication technologies, *Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Dergisi*, 4(1), 20-35.
- Benfratello, L., Bottasso, A., & Piccardo, C. (2022). R&D and export performance: Exploring heterogeneity along the export intensity distribution, *Journal of Industrial and Business Economics*, 49, 189-232.
- Carboni, O., & Medda, G. (2020). Linkages between R&D, innovation, investment and export performance: evidence from European manufacturing firms, *Technology Analysis & Strategic Management*, 32(12), 1379-1392.
- Çalışkan, Ş., Karabacak, M., & Meçik, O. (2017). Türkiye ekonomisinde eğitim harcamaları ve ekonomik büyüme ilişkisi: Bootstrap Toda-Yamamoto nedensellik testi yaklaşımı, *KOSBED*, 33, 45-56.
- Çelik, A. (2020). Türkiye'de teknoloji yatırımlarının ekonomik büyüme ve ihracat üzerindeki etkisi: Sanayi 4.0 bağlamında bir uygulama, *Sakarya İktisat Dergisi*, 9(1), 1-22.
- Çınar, H., Yıldırım, K., & Karataş, H. (2021). Türkiye mobilya sektörüne ilişkin ithalat ve ihracat değerleri ile tasarım, patent ve marka tescil sayılarının analizi, *International Design and Art Journal (Online)*, 3(2), 246-257.
- Gan, S., & Cheng, D. (2020). Exchange rate appreciation, R&D, and exportsophistication: Evidence from China, *The Journal of International Trade & Economic Development*, 29(2), 237-246.
- Girma, S., Görg, H., & Hanley, A. (2008). R&D and exporting: a comparison of British and Irish firms, *Review of World Economics*, 144, 750-773.

- Grossman, G. M., & Helpman, E. (2015). Globalization and growth, *American Economic Review*, 105(5), 100–104.
- Haddoud, M. Y., Kock, N., Onjewu, A. E., Jafari-Sadeghi, V., & Jones, P. (2023). Technology, innovation and SMEs' export intensity: Evidence from Morocco, *Technological Forecasting & Social Change*, 191, 1-13.
- Harris, R., & Moffat, J. (2011). R&D, innovation and exporting, *SERC Discussion Paper 73*.
- Hirsch, S., & Bijaoui, I. (1985). R&D intensity and export performance: A micro view, *Weltwirtschaftliches Archiv*, 121, 238-251.
- Jitsutthiphakorn, U. (2021). Innovation, firm productivity, and export survival: Firm-level evidence from ASEAN developing countries, *Journal of Economic Structures*, 10(22), 1-17.
- Karakuş, M., & Özen Atabey, A. (2021). Impact of the technological transformation in employment and export on economic growth in Turkey and the EU Countries in an information economy projection: dynamic panel data analysis, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(3), 579-591.
- Lefebvre, E., Lefebvre, L. A., & Bourgault, M. (1998). R&D-related capabilities as determinants of export performance, *Small Business Economics*, 10, 365-377.
- Mariev, O., Davidson, N., Nagieva, K., & Pushkarev, A. (2023). Innovations and their complementarities: which types of innovations drive export performance?, *Post-Communist Economies*, 35(7), 708-743.
- Neves, A., Teixeira, A. A.C., & Silva, S.T. (2016). Exports-R&D investment complementarity and economic performance of firms located in Portugal, *Invest Econ*, 75, 125-156.
- Peters, B., Roberts, M. J., & Vuong, V. A. (2022). Firm R&D investment and export market exposure. *Research Policy*, 51,1-13.
- Rau, A., & Bao, Y. (2023). Assessing the effect of domestic and foreign R&D on export: Empirical evidence from China, *International Journal of Emerging Markets*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print.
- Sey, N., & Aydın, B. (2021). Türkiye'de yüksek teknoloji ürün ihracatı ve inovasyon ilişkisi üzerine ekonometrik bir inceleme, *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 238-252.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes, *Journal of Econometrics*, 66, 225–250.
- Vlčková, J., & Stuchlíková, Z. (2021). Patents, exports and technological specialization at the state level in Germany, *AUC Geographica*, 56(2), 131-143.
- Yaman, H., Çetin, D., & Dulupçu, M. A. (2020). OECD ülkelerinde ar-ge harcamaları ve ileri teknoloji ihracatı: bir panel veri analizi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(3), 193-208.
- Yaşar, M. (2020). The relationship between high-tech product exports, r&d expenditures and patent applications: dynamic panel data analysis for selected countries, *BİLTÜRK Ekonomi ve İlişkili Çalışmalar Dergisi*, 2(4), 557-571.
- Zhao, H., & Li, H. (1997). R&D and export: An empirical analysis of Chinese manufacturing firms, *The Journal of High Technology Management Research*, 8(1), 89-105.