

Tarımsal Verimlilik ile İlişkili Faktörlerin Tespiti: BRICS-T Ülkeleri Örneği

Gökçen AYDINBAŞ^{1*} 

¹Anadolu Üniversitesi, SBE, İktisat Bölümü, Eskişehir, Türkiye

*Sorumlu Yazar: gkcnaydnbs@gmail.com

Geliş Tarihi: 07.12.2023 Düzeltme Geliş Tarihi: 20.03.2024 Kabul Tarihi: 28.04.2024

ÖZ

Ekonomik ve sosyal etkileri sayesinde tarım, bir ülke ekonomisinin temelini oluşturan unsurlardandır. Tarım sektörü birçok sektöre hammadde tedarik etmekte ve daha fazla katma değerli ürün ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Ayrıca tarım sektörü, tarımsal faaliyetlerin yapıldığı kırsal alanlarda zamanla ortaya çıkan nüfus kaybına rağmen kentleri gıda ve çeşitli hammaddeler açısından beslemeyi sürdürmesi, ülkelerin tarımsal alanlarda verimliliğini artırıcı etkisi ve dış ticaretteki yeri ile önemini korumaktadır. Tarım 4.0 (akıllı tarım) ise emek gücü ile üretim girdi maliyetlerini minimize ederek yüksek kaliteli, miktarlı ürün üretimi ve bu üretim karşılığında çiftliklerden temin edilen gelirlerin artırılması noktasında ekonomik katkılar sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, BRICS-T ülkelerinde akıllı tarım (Tarım 4.0) bağlamında tarımsal verimlilik ile ilişkili faktörlerin araştırılmasıdır. Çalışmada panel veri analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın özgün değeri, ilgili yıl aralığı ve ülke grubu için Tarım 4.0 kapsamında tarımsal verimlilik ile ilişkilendirilen faktörlerin ekonometrik bir yöntem ile incelenmesi noktasında ortaya çıkmaktadır. Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Test sonuçlarına göre, tarımsal verimlilik endeksinden (TVE) kentleşme oranına (KNT) doğru tek yönlü; beşeri sermaye endeksi (BS) ile TVE arasında ise çift yönlü nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tarımsal kalkınma ve kentleşme politikaları kapsamında beşeri sermayenin geliştirilmesine de odaklanılması gerekmektedir. Bu durum, tarımsal üretkenliği ve genel refahı artırmada ülkeler için faydalı olabilir.

Anahtar kelimeler: Tarım 4.0, Tarımsal Verimlilik, Tarımsal İstihdam, Panel Veri Analizi

Determination of Factors Associated with Agricultural Productivity: The Case of BRICS-T Countries

ABSTRACT

Thanks to its economic and social impacts, agriculture is one of the pillars of a country's economy. The agricultural sector supplies raw materials to many sectors and enables the creation of more value-added products. In addition, the agricultural sector maintains its importance by continuing to feed the cities in terms of food and various raw materials despite the loss of population in rural areas where agricultural activities are carried out over time, increasing the productivity of countries in agricultural areas and its place in foreign trade. Agriculture 4.0 (smart agriculture), on the other hand, offers economic contributions in terms of minimizing labor power and production input costs, producing high quality and quantity products and increasing the income from farms in return for this production. The aim of this study is to investigate the factors associated with agricultural productivity in the context of smart agriculture (Agriculture 4.0) in BRICS-T countries. Panel data analysis method was used in the study. The unique value of this study lies in the econometric analysis of the factors associated with agricultural productivity within the scope of Agriculture 4.0 for the relevant year range and country group. According to the results of Dumitrescu-Hurlin Panel Causality Test, a unidirectional causality relationship was found between agricultural productivity index (API) and urbanization rate (URR), and a bidirectional causality relationship between human capital index (HCI) and API. Consequently, agricultural development and urbanisation policies should also focus on human capital development. This may be beneficial for countries in increasing agricultural productivity and overall welfare.

Key words: Agriculture 4.0, Agricultural Productivity, Agricultural Employment, Panel Data Analysis

GİRİŞ

İktisadi anlamda bir ülke, sanayileşme düzeyi ile paralel şekilde kalmaktadır. Tarım sektöründe gelişim gösteremeyen bir ülkenin ise büyümesi bir hayli zor olmaktadır. Bir ülke ekonomisi için tarımsal üretimin katkılarını; nüfus, toplum beslenmesi, iş gücü, sanayi, gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) ve dış ticaret olarak sıralamak mümkündür. Dijitalleşen dünyanın yeni tarım anlayışı olarak bilinen akıllı tarım (Tarım 4.0) ile amaçlanan ise insansız traktörler, ucuz ve kolay şekilde toprak analizi, yeşil enerji kullanılarak ürünlerin kalitesinin artırılmasıdır. Ayrıca teknolojik imkânlar ile otonom hareket edebilen tarımsal robotlar, tarımsal üretim verimliliğinin ve ürün kalitesinin artırılmasını sağlamaktadır (Aydınbaş, 2023a).

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de tarım sektörü çeşitli yönleriyle ekonomiye yön verirken, tarımsal üretim insanlığın gelişiminde ve nüfusun devamlılığında tüm toplumlar için hayati önem arz etmektedir. Gelenen son noktada ise tarım sektörünün artan küresel nüfusun gıda talebini karşılayabilmesi, yüksek teknolojilerin tarımsal üretim sürecinde kullanımına bağlıdır. Nitekim "Tarım 4.0", akıllı tarım, tarımda teknolojik yenilikler, dijitalleşme ile ortaya çıkan bir dönüşüm olup, çevre dostu ve sürdürülebilir bir tarımsal üretimin sinyallerini vermektedir (Ercan ve ark., 2019).

Tarım 4.0, akıllı tarım sistemleri, uygulamalarına yönelik yatırımların sayısı giderek artmaktadır. Tarım 4.0, akıllı tarım teknolojileri Amerikan çiftçilerinin %80'i tarafından kullanırken, Avrupa'da ise bu oran yaklaşık %24 düzeyinde olmaktadır. Dolayısıyla da Amerikan pazarındaki güçlü büyümenin asıl sebebi, söz konusu ülkedeki çiftçilerin teknolojileri benimsenme oranının yüksek olmasıdır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Ayrıca 2017 yılında dünyada akıllı tarımın küresel pazar boyutu yaklaşık 9.58 milyar ABD doları olarak kaydedilirken, 20 milyardan fazla da kablosuz bağlantılı tarım aracının olduğu belirtilmektedir (Ercan ve ark., 2019; Aydınbaş, 2023a).

Bu çalışmada amaç, BRICS-T ülkelerinde akıllı tarım (tarım 4.0) bağlamında tarımsal verimlilik ile ilişkilendirilen faktörleri 2000-2019 dönem aralığında panel veri analiz yöntemiyle incelemektir. BRICS-T ülkelerinin tarım sektörleri farklı dinamiklere sahiptir. Bu nedenle de ilgili ülkelerdeki tarım sektörlerinin dijitalleşme ve otomasyon konusundaki uygulanabilirliğini araştırmak son derece önemlidir. Bu araştırma sayesinde söz konusu ülke grubunun ihtiyaçlarını ve zorluklarını belirlemek mümkün olabilecektir. Böylece bu ülke grubunun tarım sektörlerini daha verimli konuma getirmek amacıyla da daha iyi politika ve teknoloji stratejileri geliştirmelerine katkıda bulunulabilmektedir. Tarım 4.0 dijital dönüşümü, BRICS-T ülkelerinin tarım sektöründe daha sürdürülebilir, rekabetçi, verimli ve gıda güvencesini sağlamaları için bir yol izlemelerini teşvik etmektedir. Nitekim bu çalışmanın literatüre katkısı ve özgün değeri, Tarım 4.0 kapsamında tarımda verimlilik ile ilişkili faktörlerin söz konusu ülke grubu için ilgili yıl aralığında panel veri analiz yöntemi kullanılarak incelenmesi noktasında ortaya çıkmaktadır.

Öncelikle Tarım 4.0 ve BRICS-T ülkelerine etkisine ilişkin teorik altyapı oluşturulmuştur. Ardından da konuya ilişkin uygulamalı literatür tartışılmış olup, ekonometrik analiz kapsamında veri seti, model, yöntem ve bulgular ele alınmıştır. Sonuç kısmında ise konuya ilişkin genel bilgilendirmeler yapılarak bulgular tartışılmış ve bu kapsamda politika önerilerinde bulunulmuştur.

Tarım 4.0 Dönüşümü İle Brics-T Ülkelerine Etkisi: Teorik Altyapı

Yeni nesil teknolojilerle destekli Tarım 4.0, dijitalleşen tarımsal uygulamalar, çiftlik yönetimi kapsamında yazılımlar, çiftçilerin tarladaki gözü olarak dronlar, kablosuz bağlantılı tarımsal araçlar, susuz ya da topraksız tarım, yapay zekâ ile donatılmış makineler ve benzeri yeni tarım teknolojileri hem çiftçilerin hayatlarını kolaylaştırmakta hem de ülke ekonomisine katkı sunmaktadır (Aydınbaş, 2023a).

BRICS-T ülke grubu Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye ülkelerini kapsamaktadır. BRICS-T ülkeleri kendilerine özgü ekonomik ve sektörel yapılarına rağmen ortak özellikleri döviz rezervine dayalı ekonomik büyüme olmuştur. Nitekim bu grubu, hızlı bir şekilde büyüyen ekonomileri, demografik özellikleri ve gelecek vadeci potansiyelleri öteki gelişmekte olan pazarlardan farklılaştırmaktadır (Yavuz ve ark., 2022). Çizelge 1'de 2021 yılı için BRICS-T ülke grubuna ilişkin tarımsal istatistiklere yer verilmiştir.

Çizelge 1'den de takip edildiği üzere 2021 yılında tarımsal katma değer GSYH içindeki payı ile tarımsal istihdamın toplam istihdamdaki payında en yüksek değer, Hindistan'a ait iken, tarımsal alanın toplam alandaki payında en yüksek değer Güney Afrika'ya ve tarımsal hammadde ihracatının ticari mal ihracatındaki payında en yüksek değer ise Brezilya'nın olmuştur (Çizelge 1). Çizelge 2'de 2021 yılı için BRICS-T ülke grubuna ait Tarım 4.0 kapsamındaki istatistiklere yer verilmiştir. Tarımsal üretim için Tarım 4.0, bir devrim yaratma potansiyeli taşımaktadır. Tarımsal makine stoğu ve tarımsal verimlilik endeksi, ilgili teknolojilerin tarımsal üretime etkisinin ölçümü ve izlenmesinde son derece önemli göstergelerdir. Tarımsal makine stoğu ve verimlilik endeksinin takip ederek, gerek tarım işletmeleri gerekse yatırımcılar, hangi teknolojilere ve ekipmanlara yatırım yapacaklarını

belirleyebilecektir. Ayrıca tarımsal makine stoğu ve verimlilik endeksi, bir ülkede tarımsal sektörün rekabet gücünü değerlendirmekte kullanılabilir.

Çizelge 1. BRICS-T Tarımsal İstatistikler, 2021

Ülke	Tarımsal Katma Değer (GSYH, %)	Tarımsal İstihdam (Toplam İstihdam, %)	Tarımsal Alan (Toplam Alan, %)	Tarımsal Hammadde İhracatı (Ticari Mal İhracatı, %)
Brezilya	7.486	9.689	28.639	4.781
Rusya	3.870	5.801	13.158	2.313
Hindistan	17.326	43.959	60.045	1.469
Çin	7.241	24.405	55.462	0.339
Güney Afrika	2.467	21.296	79.417	1.704
Türkiye	5.543	17.121	49.490	0.608

Kaynak: Dünya Bankası, 2021

Çizelge 2. BRICS-T Tarım 4.0 Kapsamında İstatistikler, 2021

Ülke	Tarımsal Makine Stoku (1000 Metrik Beygir Gücü "CV")	Tarımsal Verimlilik Endeksi, 2015=100)
Brezilya	47251.487	98.883
Rusya	13242.897	111.176
Hindistan	469789.871	116.101
Çin	1463535.010	110.744
Güney Afrika	4258.185	111.266
Türkiye	49975.752	115.928

Kaynak: USDA, Economic Research Service, 2021

Çizelge 2’den de izlendiği üzere 2021 yılında tarımsal makine stokundaki en yüksek değer, Çin’e ait iken, tarımsal verimlilik endeksinde en yüksek değer Hindistan’ın olmuştur. Ayrıca aynı yıl bazında hem tarımsal makine stoku hem de tarımsal verimlilik endeksi değerleri olarak bu ülke grubu içerisinde Türkiye’nin ikinci sırada yer aldığı görülmektedir (Çizelge 2). BRICS-T ülkelerinde Tarım 4.0 dijital dönüşüm sürecindeki gelişmeler sırasıyla aşağıda sunulmuştur:

Brezilya: Brezilya, tarımsal üretim ve ihracatında önemli başarılar elde eden ülkelerden biridir. 1991 yılından itibaren Brezilya Tarımsal Araştırma Kurumu, temel araştırmalarda ve tarımsal sanayi uygulamalarında kullanılmak amacıyla çeşitli bilgisayarlı sistemler geliştirmekten sorumlu, özellikle Bilgi Teknolojilerine dayalı bir ajansa sahip bulunmaktadır. Tarım 4.0 ile beraber tarımsal-endüstriyel teknolojik sistemlerdeki ilerlemeler sonucunda Brezilya’nın her ne kadar tarımsal iş gücü piyasasında azalma olmuşsa da daha uzmanlaşmış iş gücü ihtiyacında artışlar olmuştur. Brezilya’da Tarım 4.0 kapsamında ekim alanlarının optimum büyüklüğünün hesaplanması ve soya hasadının tahmini için yapay sinir ağları uygulanmaktadır. Brezilya’da “BovChain” olarak adlandırılan uygulamalar büyük veri ve bulut bilişim aracılığıyla sosyo-çevresel parametrelerin yönetimini yapmaktadır. Bu uygulamalar ile çiftçiler, mezbahalar, alıcılar ve yatırımcılar birbirine bağlanmaktadır. Bu şekilde tarım ve hayvancılık üretim zincirlerinin hesap verebilirliği ve çevresel yönetimi kolaylaştırıcı ortak bir dijital pazar içinde hem sürüler hem de ticari işlemler gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Ayrıca Brezilya hassas tarım konusunda da ciddi anlamda ilerleme sağlamıştır. Bu kapsamda uydudan izleme, mahsullerin ve sürülerin hesaplamalı görselleştirilmesi, akıllı sulama, zirai ilaç kullanımının optimizasyonu konularında uygulamalar geliştirilmiştir. Bu kapsamda verilebilecek bir başka örnek de, çevresel etkilerin azaltılması ve ürün performansının artırılmasını amaçlayan “Agrosmart” olarak adlandırılan bir Brezilya platformudur (Viola ve Mendes, 2022).

Rusya: Son 10-15 yıldan beri Rusya, dünya tarım pazarında kilit bir unsur haline gelmiştir (Nadezhda ve Dmitry, 2022). Rusya, yaklaşık 130 milyon tonluk tahıl rekoltesi ile dünyanın en önemli ilk 5 üretici ülkesinden biridir. Son dönemlerde tarımsal mekanizasyon, Rusya’da tarım sektöründeki yüksek üretim artışlarında önemli etki yaratan bir faktördür. Rosspetsmash’e göre, 01 Ocak 2022 tarihinden itibaren Rusya’da 100’den fazla yerli tarımsal makine üreticisi faaliyet göstermektedir. Rusya’da üretilen tarım makinelerinin alımı için Rus tarım sektöründeki üreticiler, indirimli fiyatlardan yararlanabilmektedir. Rus menşeli tarım makine ve ekipmanı alımı için 2020 yılında 14 milyar rublelik (\$189 milyon) destek sağlanmıştır. Rus menşeli tarım makinelerinin ihracatı

2020 yılına kıyasla 2021 yılında %46.8 artarak 452 milyon doları geçmiştir (T.C. Moskova Büyükelçiliği Ticaret Müşavirliği, 2022). Nitekim Rusya'nın geniş toprakları ve tarım potansiyeli, makineleşmeyi teşvik etmektedir. Ancak, coğrafi olarak farklı bölgelerde iklim ve toprak koşulları açısından büyük farklılıkların olması, tarım uygulamalarının farklılaşmasına neden olabilmektedir. Sanayide yaşanan yeni genişlemelerle birlikte Rusya tarımsal pozisyonunu güçlendirme, gıda güvenliğini temin etme ve rekabet gücünü artırma amacıyla Tarım 4.0'a yönelmeye başlamıştır. Tarım 4.0'ın, Rus ekonomisinin tarım sektöründe bilgi araçlarının kullanımının önündeki engellerin aşılmasına katkıda bulunabileceği ifade edilmektedir (Fedotova ve ark., 2020).

Hindistan: Ülkenin büyüyen ekonomisinde tarımın önemi son derece büyüktür. Dünya meyve ve sebze üretiminde Hindistan, Çin'den sonra ikinci sırada konumlanmaktadır. Hindistan'ın kırsal bölgelerinde her ne kadar geleneksel tarım yöntemleri hala yaygın olsa da makineleşme tarımsal verimliliğin ve iş gücü veriminin artırılması noktasında son derece önemli bir faktördür. Hindistan tarımının sürdürülebilir ve kârlı bir şekilde büyümesi açısından azalan, bozulan arazi ve su kaynakları, kuraklık, sel gibi sorunlar ile karşılaşmak da mümkündür. Verimlilik ve kârlılıkta artış için modern teknolojilerin kullanımına duyulan ihtiyaç, Hindistan'da Tarım 4.0'ın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Tarım 4.0, tarım sektöründe teknolojik yenilikler, dolayısıyla Hindistan için tarımsal üretimde verimliliğin artırılması, yeni istihdam alanları yaratılması ve yoksulluğun azaltılarak eşitlikçi ve sürdürülebilir büyümenin teşvik edilmesi bakımından son derece önemlidir. Hindistan'da çok sayıda yeni nesil çiftçi, çiftliklerde kullanılan gübrelerin optimum düzeyini belirlemek adına toprak haritalama yazılımı kullanmaktadır. Ayrıca gıda değer zincirinde üretimi iyileştirmek amacıyla Agrotech start-up'ları ve geleneksel çiftçiler en son çözümleri ve trendleri tercih etmeye başlamıştır. Bu anlamda Hindistan için önemli bir gelişme de Hindistan Dijital Tarım Ekosistemi (IDEA) olmuştur. IDEA'nın temel görevi, Hindistan'da tarım için daha iyi bir ekosistem oluşturulması açısından önemli katkılar sunmak, gelişen teknolojilerden yararlanarak tarım odaklı yenilikçi çözümler oluşturmaktır. Bu ekosistem, çiftçilerin gelirinin ve tarım sektöründe verimliliğin artırılmasına yönelik etkili planlamalar açısından hükümet için önemli bir destekçidir (IBEF, 2023). Son zamanlarda ise Hindistan'ın odağındaki konu, verimlilik ve iş takibi konusunda çalışmalarını hızlandırarak Blockchain teknolojisi tabanlı yeni bir tarım alt yapısını kullanmaktadır. Bu alt yapı oluşturulduğunda yetiştirilen ürünlerin gıda işleme şirketlerine dağıtımı, depolanması ve benzeri işlemler için IoT sensörleri ve veri analizleri kullanılması planlanmaktadır. Bu şekilde tüketiciler de dahil olmak üzere ürünlerin geçtiği tedarik sürecinin izlenmesi mümkün olacaktır (Kurt, 2023).

Çin: Önemli bir tarım ülkesi olup, aynı zamanda 1.4 milyarı aşkın toplam nüfusu ile dünya nüfusunun %22'sini oluşturarak dünyanın en kalabalık ülkesidir. Ancak nüfusu dünyadaki ekilebilir arazilerin sadece %9'u ile beslemektedir (Jiang ve ark., 2022). Dolayısıyla ülke, nüfusunu yeterince desteklenmesi için iç gıda talebinin karşılanması bakımından zorluklarla karşılaşmaktadır (Chandio ve ark., 2020). Bu anlamda Çin'in karşılaştığı zorlukların çözümünde tarımsal mekanizasyon önemli rol üstlenmektedir. 2017 yılında, ülke topraklarının yaklaşık %70'ini kaplayan batı Çin'de toplam 266 milyon kilovat gücünde tarım makinesi kullanılırken, Çin'in başka bölgelerinde toplam 717 milyon kilovat gücü kullanılmıştır (Xiaoming ve ark., 2020). Ülkede tarım sektörünün modernizasyonu için büyük bir çaba harcanmıştır. Tarımın makineleşmesi Çin'de tarımsal üretimi artırmak ve iş gücü verimini yükseltmek açısından son derece önemlidir. Nitekim Çin, Tarım 4.0'ın sektör üzerinde olumlu etkileri olduğunu görmüştür. Ülkede bu teknolojilere yatırım yapılarak verimlilik artırımı, sürdürülebilirlik teşviki ve kırsal kalkınmanın desteklenmesi amaçlanmıştır. Bu noktada şunu belirtmek gerekir ki, Çin'de Tarım 4.0'ın temelini 2019 yılında açıklanan "Tarım ve Kırsal Alanların Dijitalleştirilmesi Kalkınma Planı (2019-2025)" oluşturmaktadır. Çin'de Tarım 4.0 kapsamında pek çok gelişme yaşanmıştır. Örneğin pestisit püskürtmek amacıyla kullanılabilen tarımsal dronlar Çin'deki tarımsal bitki korumanın yalnızca %2'sini oluşturmaktadır. Bununla birlikte Çin, dünyanın en büyük tarımsal e-ticaret pazarı olarak küçük/orta ölçekli çiftçileri ulusal pazara bağlayabilmektedir. Çin'in kuzeydoğusundaki bir eyalet olan Heilongjiang'da ise tarım faaliyetlerinde önemli bir destekçi olarak akıllı makineler insan gücünden tasarruf ederek verimliliği artırmaktadır (Aydemir, 2023).

Güney Afrika: Ülke topraklarının %13'ü tarıma elverişli olan ve nüfusunun %21'inin geçimini tarımdan sağlayan Güney Afrika, 96 milyon 341 bin hektar alan ile dünyanın en geniş tarım arazilerine sahip ülkelerinden biridir (Güneş, 2023). Ancak Güney Afrika'da tarımsal üretimi sınırlayan en temel unsur; su temini iken, su tedarikinin %50'si tarımsal üretim için kullanılmaktadır (Dış Ekonomik İlişkiler Kurulu "DEİK", 2013). Güney Afrika'da tarım, ülke ekonomisi açısından son derece önemlidir ve tarım makineleşmesi sürdürülebilir üretim hedeflerine katkıda bulunabilmektedir. Tarımdaki son teknolojik gelişmelerle birlikte Güney Afrika tarım sektörünü dijitalleştirmeye odaklanmıştır. Güney Afrika'da kuraklık ve iklim değişikliği nedeniyle su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Tarım 4.0, su kaynakları üzerinde daha iyi kontrol imkânı sağlamaktadır. Bu anlamda Güney Afrika için Tarım 4.0 hayati nitelikte bir dönüşümdür (Boakye, 2023).

Türkiye: 2020 yılında tarım sektörü; çalışan nüfusun yaklaşık %18'ine istihdam sağlayarak GSYH'nin %6.6'sını oluşturmuştur. Aynı yıl bu sektörün GSYH'ye katkısı 47.3 milyar dolar olup dünyanın en büyük onuncu

tarım üreticisidir. 2003-2020 yıl aralığında yıllık ortalama büyüme tarım sektörü için %2.5 olarak gerçekleşmiştir (Invest in Turkey, 2021; Oğul, 2022). Ayrıca Türkiye’de tarım makineleri sektöründe sürekli bir şekilde artışlar olmaktadır. Tarım makineleri sektör büyüklüğü 2012 yılında 1 milyar 836 milyon dolar düzeyindeyken, 2017 yılına gelindiğinde, 3.5 milyar dolar düzeyine ulaşmıştır (Bulut, 2021). 2018 yılında ise yaklaşık olarak 120 ülkeye, 830 milyon dolar değerinde tarım makineleri ihracatı yapılmıştır. Bu değer 423 milyon doları traktör iken, 406 milyon doları ekipmandır (Şahin Ulucan, 2020). 2019 yılında Türkiye’nin tarım makineleri pazar büyüklüğü 1.1 milyar dolara; tarım makineleri ihracatı ise 868 milyon dolara ulaşmıştır (T.C. Yatırım Ofisi, 2023). Son zamanlarda ise Tarım 4.0’a ilişkin Türkiye’de önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Türkiye’de üreticilerin (çiftçiler), özel sektör (imalatçılar, teknoloji tedarikçileri), birlik ve kooperatifler ile kamu ve üniversitelerden oluşan bir sektörün bütün paydaşlarının işbirliği ile tarımdaki teknolojik dönüşümün gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Vodafone Türkiye ve Tarımsal Bilişim ve İletişim Teknolojileri (TABİT) ortaklığında kırsal kalkınmanın desteklenmesi için Aydın’da kurulan “Vodafone Akıllı Köy”, Turkcell Akıllı Tarım, Farmbot, Ege Üniversitesi İ.İ.B.F ve İzmir Ticaret Borsası ortaklığında yürütülen “Türk Tarımının Global Entegrasyonu: Tarım 4.0” projesi Türkiye özelinde akıllı tarıma (Tarım 4.0) ilişkin örneklerden bazılarıdır (Kaya, 2019). Özellikle de Vodafone Akıllı Köy, dünyada ve Türkiye’de uçtan uca dijital teknolojilerle donatılmış ilk akıllı köy olma yolunda hızlı bir şekilde ilerleme kaydetmektedir. Geleneksel tarım yöntemlerinin yüksek teknoloji ile birleştirildiği “Vodafone Akıllı Köy”ün, tarımsal üretimde verimliliği bilgi ve teknolojileri ile arttırmak, tarımda genç istihdamı arttırmak, teknolojinin başka köylere de yayılmasına imkân tanımak gibi temel hedefleri bulunmaktadır. Ayrıca Akıllı Köy ile minimum olarak bitkisel üretim maliyetlerinde ve sulamada %20, hayvansal üretim maliyetlerinde %22 tasarruf hedeflenmektedir (İTTM, 2019).

LİTERATÜR TARAMASI

Son zamanlarda gelişen teknoloji ile Tarım 4.0 süreci, tarımda mekanizasyon kullanımını artırmıştır. Tarım 4.0 kapsamında değerlendirilebilecek literatürdeki ekonometrik çalışmalara bakıldığında, tarımsal Ar-Ge harcamaları ve tarımsal verimlilik, tarımsal mekanizasyon, makineleşme, tarımın yeşil dönüşümü, tarımsal yeşil kalkınma ve tarımsal teknolojilere yönelik konular bulunmaktadır. Aşağıda söz konusu çalışmalar ve bunlardan elde edilen bulgular kategorize edilerek ayrı ayrı tartışılmaktadır:

Subaşı ve Ören (2013) tarafından yapılan çalışmada 1990-2010 dönem aralığı için tarımsal Ar-Ge harcamaları ile tarımsal büyüme arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yazarlar, tarımsal Ar-Ge harcamaları ile tarımsal büyüme arasında uzun vadede bir ilişkinin var olduğunu Johansen eşbütünleşme testi ile ortaya koymuştur. Ayrıca toplam faktör verimliliği ile tarımsal Ar-Ge harcamaları arasında ve tarımsal Ar-Ge harcamalarından tarımsal büyümeye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Pakdemirli (2019), Türk tarım sektöründe yapılan Ar-Ge harcamaları ile tarımsal hasıla ilişkisini 2003-2017 yıllık verileri bazında Granger nedensellik testi ile araştırmış ve çalışmada Ar-Ge harcamalarının tarımsal hasılayı, tarımsal hasılanın ise Ar-Ge harcamalarını olumlu yönde etkilediği bulunmuştur. Bu kapsamda literatürde yer alan bir diğer çalışmada ise Soyuyğit ve Akyol (2021) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, seçilmiş AB üyesi Geçiş Ekonomileri (Çekya, Estonya, Kıbrıs, Letonya, Litvanya, Macaristan, Slovakya ve Slovenya) üzerinden 2005-2016 yıl aralığı bazında kamusal Ar-Ge harcamalarının tarımsal verimliliğe etkisinin Swamy rassal katsayılı panel regresyon modeli ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, tarımsal üretime ilişkin kamusal Ar-Ge harcamaların tarımsal üretim üzerinde kısmen de olsa pozitif bir etki yarattığı sonucuna varılmıştır.

Alene (2010) yapmış olduğu çalışmada, 1970-2004 dönem aralığında Afrika tarımındaki toplam faktör verimliliği (TFV) büyümesini eşzamanlı ve ardışık teknoloji sınırları altında ölçmeyi ve karşılaştırmayı amaçlamıştır. Yazar tarafından verimlilik artışının nedenleri, sabit etkili bir regresyon modeli ile tarımsal Ar-Ge harcamaları için polinom dağılımlı bir gecikme yapısı kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, tarımsal Ar-Ge harcamaları, hava koşulları ve ticaret reformlarının Afrika’da tarımsal verimlilik üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna varılmıştır. Koç ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada 1991-2013 verileri ile TFV artışı üzerinde tarımsal Ar-Ge harcamaları, tarımda sabit sermaye yatırımları tarımsal destekler ve birim alana düşen yıllık ortalama yağış miktarının etkisini ekonometrik olarak analiz etmiştir. Yazarlar bu çalışmalarında; tarımsal Ar-Ge, tarımsal kredi kullanımı, tarım sektöründe sabit sermaye yatırımları, tarımsal destekleri ve yıllık yağış miktarının TFV büyüme hızındaki değişimin önemli bir kısmını (%65’ini) açıkladığı sonucuna ulaşmıştır. Süt (2021) tarafından yapılan çalışmada, 17 gelişmekte olan ülke ve 1992-2018 yılları arasında panel veri analiz yöntemi kullanılarak tarımsal verimlilik ile kentleşme ve çevre ilişkisi incelenmiştir. Yazar bu çalışmada, Dumitrescu Hurlin nedensellik testi ile kentleşmedeki değişimin tarımsal verimlilik düzeyini etkilediği, ancak tarımsal verimliliğin değişiminin kentleşmeyi etkilemediği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca karbon emisyonu ile tarımsal verimlilik arasında nedensellik ilişkisine rastlanırken, diğer sektörlerle kıyasla nispeten daha az karbon salınımına sebep olan tarımsal faaliyetlerde üretkenlik artışı ile karbon salınımı arasında nedensellik ilişkisi bulunamamıştır.

Türkiye’de 2009-2018 dönem aralığı için Yücel ve Çalışkan (2020) tarafından yapılan çalışmada tarımsal mekanizasyon düzeyi, verimlilik ve ortalama gelirin, tarımsal istihdam oranına etkisinin ARDL modeli ile araştırılmıştır. Çalışmada tarımdaki makineleşme düzeyi ile uzun vadede tarımsal istihdam oranı arasında anlamlı ve ters yönlü bir ilişki bulunmuştur. Bununla birlikte kısa vadede verimliliğin tarımsal istihdam oranını etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca uzun vadede Türkiye’de tarım sektöründe ortalama gelirin istihdam oranını olumsuz etkilediği saptanmıştır. Peng ve ark., (2022) çalışmalarında, tarımsal mekanizasyon düzeyinin tarımsal üretim ve gelir üzerindeki etkisini En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışmanın verileri, 2018 yılında Hubei Eyaletinde 1.116 çiftçiyle yapılan bir saha araştırmasından elde edilmiştir. Çalışmada, tarımsal mekanizasyon düzeyinin her bir ürünün üretim maliyeti, çıktı değeri, verimliliği ve satışından elde edilecek gelir üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Tandoğan (2022) çalışmasında Türkiye için 2006-2019 dönemi itibarıyla tarımsal üretim ile tarımsal makineleşme arasındaki ilişkiyi ARDL modeli ile araştırmış, tarımsal üretimin uzun dönemde gelir, arazi ve makine kullanımı ile pozitif, iş gücü ile negatif bir ilişki içinde olduğu sonucuna varmıştır. Sun ve ark. (2023) çalışmalarında, Çin’de 1998-2020 dönem aralığı bazında Johansen eş-bütünlük testi ile tarımsal ekonomik kalkınma endeksini ölçmüştür. Çalışmada Çin’in tarımsal ekonomik kalkınmasının dönüşümünün dalgalı bir yükseliş içinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Çin’in tarımsal mekanizasyon gelişiminin 2012 yılından sonra altın bir döneme girdiği sonucuna varılmıştır.

Xiaoming ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada 2008-2017 dönem aralığında ML Endeksi ve Mekansal panel modeline dayalı olarak Çin’in 30 eyaleti, özellikle de Batı Çin’de tarımsal mekanizasyon gelişiminin tarımsal yeşil dönüşüm üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, Batı Çin’deki tarımsal yeşil dönüşümün dalgalanmalı bir artış eğilimi gösterdiği ancak genel dönüşüm düzeyinin halen ulusal ortalama düzeyinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, batı bölgesindeki tarımsal mekanizasyon operasyon düzeyi, tarımın yeşil dönüşümünü teşvikinde olumlu bir etkiye sahipken, tarımsal mekanizasyon ekipman düzeyi ise tam tersi yönde bir etki göstermiştir. Güneybatı Çin’e kıyasla kuzeybatı Çin’deki tarımsal mekanizasyon operasyon düzeyi daha olumlu bir yönde bir etki bırakmaktadır. Son olarak da çiftçilerin gelirinin ve tarımsal teknolojinin artışı, batı bölgesinin tamamında tarımın yeşil dönüşümü üzerinde olumlu etkilere sahipken, tarımsal insan sermayesi ise kuzeybatı ve güneybatıda ters yönlü bir etki bıraktığı ortaya çıkmıştır. Jiang ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada, 2011-2020 dönem aralığında 30 Çin eyaletinin panel verileri bazında dijital ekonominin tarımsal yeşil kalkınmaya etkisini ampirik bir analiz ile incelemiştir. Ortaya çıkan sonuçlar şu şekildedir: (i) Dijital ekonominin Çin tarımının yeşil kalkınma düzeyini ciddi anlamda artırabileceğini; doğu bölgesi ve orta bölgesindeki kâr paylarının batı bölgesindekinden büyük oranda daha yüksek olduğunu ve bölgesel heterojenliğin söz konusu olduğunu ortaya koymaktadır. (ii) Dijital ekonominin tarımsal yeşil kalkınmayı teşvikindeki rolü, artan “marjinal etki” gibi doğrusal olmayan bir özelliğe sahiptir. (iii) Dijital ekonomi, tarımsal yeşil kalkınmaya katkıda bulunabilecek önemli bir mekansal yayılma etkisine sahiptir. (IV) “Geniş Bant Kırsal”ın kurulumu, kırsal dijital ekonominin gelişimini iyileştirebilecek ve dolaylı olarak da tarımsal yeşil kalkınmayı teşvik edebilecek niteliktedir.

Bekele (2020) Etiyopya için 2010-2018 dönemini baz alan çalışmasında, ülke düzeyinde tarımsal teknolojilerin benimsenmesini etkileyen temel faktörleri rassal etkiler modeli ile belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada, tarımsal teknolojilerin benimsenmesi üzerinde hanehalkı reisinin yaşının, eğitim seviyesinin, işletme büyüklüğünün, hayvan varlığının, yayım hizmetlerine ve kredi hizmetlerine erişiminin, kooperatif üyeliğinin ve pazara uzaklığın istatistiksel açıdan anlamlı ve olumlu yönde etkili olduğu sonucuna varmıştır.

“Akıllı Tarım (Tarım 4.0) Bağlamında Tarımsal Verimlilik ile İlişkili Faktörler: BRICS-T Ülkeleri Örneği” başlıklı bu çalışmanın orjinal yönü ve literature katkısı ise Tarım 4.0 bağlamında tarımsal verimlilik ile ilişkili faktörlerin BRICS-T ülke grubu için 2000-2019 dönem aralığında panel veri analiz yöntemi kullanılarak incelenmesiyle ortaya çıkmaktadır.

EKONOMETRİK ANALİZ

Araştırmanın modeli ve veri seti

Çalışmada tarımsal verimlilikteki değişimin, tarımsal katma değer, tarımsal istihdam, beşeri sermaye ve kentsel nüfus ile ilişkisini belirlemek amaçlanmıştır. “Bu çalışma, kapsamı gereği etik kurul onayı gerektirmemektedir.”

BRICS-T ülkelerinde akıllı tarım (Tarım 4.0) bağlamında tarımsal verimlilik ile ilişkili faktörlerin araştırıldığı bu çalışmada kurulan model aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$TVE_{it} = \beta_0 + \beta_1TKD_{it} + \beta_2TİS_{it} + \beta_3KNT_{it} + \beta_4BS_{it} + e_{it} \quad (1)$$

Bu modelde; “i” ile birim (ülke), “t” ile zaman (yıl) gösterilirken, katsayıyı “β”, sabit terimi “α”, hata terimini ise “e” ile temsil etmektedir.

Çizelge 3. Değişkenler, Açıklamaları ve Kaynakları

Değişken	Sembol	Değişken Türü	Gözetim Aralığı	Veri Kaynakları
Tarımsal Verimlilik Endeksi	TVE	Bağımlı Değişken	2000-2019	Ekonomik Araştırma Servisi (Economic Research Service “ <i>USDA</i> ”)
Tarımsal Katma Değer (GSYH %)	EMP	Bağımsız Değişken		Dünya Bankası (World Bank “ <i>WB</i> ”)
Tarımsal İstihdam (Toplam İstihdam %)	TİS	Bağımsız Değişken		
Kent Nüfus Oranı	KNT	Bağımsız Değişken		
Beşeri Sermaye	BS	Bağımsız Değişken		Penn Dünya Tablosu (Penn World Table “ <i>PWT</i> ”)

Çizelge 3’te modele dâhil edilen değişkenler, açıklamalar ve kaynaklara değinilmiştir. Modelde 2000-2019 dönemi için yıllık veriler kullanılmış olup “TVE”; tarımsal verimlilik endeksini, “TKD”; tarımsal katma değer GSYH’deki payını (%), “TİS”; tarımsal istihdamın toplam istihdamdaki payını (%), “KNT” kent nüfus oranını ve “BS” beşeri sermaye endeksini göstermektedir. Kullanılan veriler WB ve PWT istatistiksel veri tabanından temin edilmiştir (Çizelge 3).

Tarım 4.0 bağlamında tarımsal verimlilik endeksi ile ilişkili faktörler olarak ilgili değişkenlerin seçilmesi neden önemlidir? Bunu şu şekilde açıklamak mümkündür: “Tarımsal katma değer GSYH içindeki payı”, tarım sektörünün ekonomideki rolünü göstermektedir ki; yüksek bir pay, hem tarıma yönelik yatırımların ekonomiye etkisini artırabilmekte hem de modernizasyon için kaynak sağlayabilmektedir. “Tarımsal istihdam”, tarım sektöründeki iş gücü miktarını göstermektedir. “Kent nüfusu” artışı, tarım sektöründeki iş gücü kaymasını tetikleyebilmektedir. Kentleşme, bir taraftan tarımda daha az iş gücüne gereksinim duyulmasına yol açabilirken, diğer taraftan da teknolojik çözümlere yönelimi artırabilmektedir. “Beşeri Sermaye” ise akıllı tarım dönüşümü için gerekli teknik bilgi ve becerilerin bulunması noktasında son derece önemlidir. Eğitimli bir iş gücünün, tarım teknolojilerini daha etkili bir şekilde kullanabilmesi mümkün olmaktadır. Nitekim ilgili faktörlerin seçilmesi, tarımsal verimlilik endeksinin sosyo-ekonomik etkilerinin değerlendirilmesi ve uygun politikaların geliştirilmesi açısından gereklidir.

Araştırmanın Yöntemi

Panel veri analizi kapsamında öncelikli olarak değişkenler ve model için yatay kesit bağımlılığı Breusch-Pagan CD_{LM} (1980) testi ile incelenmiştir. Çünkü yatay kesit kesit bağımlılığı dikkate alınmazsa, analiz sonuçları sapmalı (yanıltıcı) ve tutarsız olabilmektedir. Bu çalışmada Breusch-Pagan CD_{LM} (1980) testinin uygulanma sebebi, yatay kesit bağımlılığı $T > N$ olmasıdır. İlgili testin sıfır hipotezi “ H_0 : Yatay kesit bağımlılığı yoktur.” alternatif hipotezi ise “ H_1 : Yatay kesit bağımlılığı vardır.” biçimindedir. H_0 hipotezinin reddedilebilmesi için olasılık değerinin 0.05’ten küçük olması gerekir ki, bu durumda yatay kesit bağımlılığının var olduğu kanıtlanmaktadır. Devam eden aşamada ise ikinci nesil birim kök testleri uygulanmaktadır. Eğer tersi bir durum söz konusu ise yatay kesit bağımlılığı bulunmamakta, birinci nesil birim kök testleri ile analize devam edilmektedir. Panel veri analiz yönteminde, serilerin durağanlık şartını sağlayıp sağlamadığının belirlenmesi tahminlerin güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Yatay kesit bağımlılığı sınanmasında elde edilen sonuçlara uygun olarak bir sonraki aşamada da panelin durağanlığının sınanmasında Pesaran (2007) tarafından geliştirilen CIPS birim kök testi kullanılmıştır. İlgili testin hipotezleri “ H_0 : Seride birim kök vardır.” ve “ H_1 : Seride birim kök yoktur.” biçimindedir. Westerlund (2008), Durbin-H grup testinde otoregresif parametrenin kesitler arası farklılaşmasına imkân tanınmaktadır. Bu testin hipotezlerine göre H_0 hipotezi eşbütünleşmenin olmadığı, alternatif hipotez ise en azından kesitlerden bazıları için eşbütünleşme ilişkisinin var olduğu belirtilmektedir. Westerlund (2008) Durbin-H panel testinde kabul edilen durum ise otoregresif parametrenin tüm kesitler için aynı olduğudur. Bu noktada H_0 hipotezi eşbütünleşme yoktur iken, alternatif hipotez ise bütün panel için eşbütünleşme ilişkisi varlığına işaret etmektedir. Panel veri analizi çerçevesinde Dumitrescu ve Hurlin (2012) testi, zaman boyutunun kesit boyutundan büyük veya küçük olması fark etmeden etkin sonuçlar vermektedir. Çalışmanın amacına uygun olarak seriler arası nedensellik ilişkisinin araştırılmasında, Dumitrescu ve Hurlin (2012) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin avantajları; paneli oluşturan ülkeler arası yatay kesit bağımlılığını ve heterojenliği dikkate alabilmesi; zaman boyutu, yatay kesit boyutundan (N) büyük ya da küçük olması fark etmeksizin uygulanabilmesi ve dengesiz panel veri setlerinde dahi etkin sonuçlar ortaya koyabilmesi olarak sıralandırılabilmektedir. Dumitrescu ve Hurlin testinin bir diğer özelliği ise hem eş-bütünleşik

ilişkinin varlığında hem de ilişki bulunmadığında analiz edilebilmesidir. Testin H_0 hipotezi yatay kesitlerin tamamında “X’ten Y’ye nedensellik ilişkisi yoktur.” şeklinde kurgulanmaktadır (Alper ve Oransay, 2015; Aydınbaş, 2023b).

ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmanın bu bölümünde, BRICS-T ülkelerinde akıllı tarım (Tarım 4.0) bağlamında tarımsal verimlilik ile ilişkilendirilen faktörler panel veri analizi ile araştırılmıştır. Ekonometrik analiz ile elde edilen sonuçlar Eviews 12, Stata 16 ve Gauss 16 paket programları ile hesaplanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen bulgular sırasıyla yorumlanmıştır.

Çizelge 4. Yatay Kesit Bağımlılık Test Sonuçları

Test	Her Bir Değişken ve Model için Yatay Kesit Bağımlılık Testi Sonuçları	
	Breusch-Pagan (1980) CD_{LM}	
<i>Değişken ve Model</i>	<i>İstatistik</i>	<i>p-değeri</i>
TVE	267.164*	0.000
TKD	154.202*	0.000
TİS	247.620*	0.000
KNT	291.199*	0.000
BS	298.840*	0.000
MODEL: TVE = F (TKD, TİS, KNT, BS)	247.629*	0.000

Çizelge 4’te yatay kesit bağımlılık test sonuçları değerlendirilmiştir. Gerek değişkenler gerekse model için H_0 hipotezi reddedilmiş olup, yatay kesit bağımlılığının varlığı kanıtlanmıştır (Çizelge 4). CIPS birim kök test sonuçlarına Çizelge 5’te yer verilmiştir.

Çizelge 5. CIPS Birim Kök Test Sonuçları

CIPS İstatistik	Kritik Değer			
Değişken	Düzye	Fark		
TVE	-2.042	-3.353	1%	-2.600
TKD	-2.111	-4.099		
TİS	-3.661	-3.677	5%	-2.340
KNT	-2.040	-2.896	10%	-2.210
BS	-1.928	-3.688		

Çizelge 5’te yer verilen CIPS Panel birim kök testi sonuçlarına bakıldığında, TVE, TKD, KNT ve BS değişkenleri $I(1)$ ’de yani birinci fark alındığında durağanlaşırken, TİS değişkeni $I(0)$ ’da yani düzeyde durağan çıkmıştır. Bu neticede ise Westerlund (2008) eş-bütünleşme testinin çalışmanın bir sonraki aşaması için uygun olacağı kanısına varılmıştır (Çizelge 5). Panel birim kök testi sonrası nedensellik analizine geçilmeden önce, eğim katsayılarının her bir ülke için homojen-heterojenlik durumu, Pesaran & Yamagata (2008) delta testleri ve Swamy-S testi ile saptanmıştır. Çizelge 6’da Pesaran & Yamagata (2008) ve Swamy-S homojenlik test sonuçlarına yer verilmiştir. Bu sonuçlar ile her bir ülke için eğim katsayılarının heterojen olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Homojenlik Test Sonuçları

Pesaran & Yamagata (2008) Homojenlik Test Sonuçları		
Test istatistik	t-istatistik	p-değeri
<i>Delta Tilde (Δ)</i>	6.199*	0.000
<i>Düzeltilmiş Delta Tilde (Δ_{adj})</i>	7.410*	0.000
Swamy-S Homojenlik Test Sonuçları		
χ^2	p-değeri	
3831.81	0.000	

Pesaran & Yamagata (2008) homojenlik test sonuçları, Swamy-S homojenlik testinin sonuçları ile de desteklenmiştir. Bir sonraki aşamada ise seriler arası uzun dönem ilişkisi, Westerlund (2008) testi (Durbin-H) panel eş-bütünleşme testiyle sınanmıştır. Bunun nedeni, CIPS Panel birim kök testi sonuçlarına göre değişkenlerin I(0) ve I(1) karışık bir şekilde durağan hale gelmesidir (Çizelge 6). Çizelge 7’de Gauss 16 paket programı ile hesaplanan Westerlund (2008) Durbin-H eşbütünleşme testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7. Westerlund (2008) Durbin-H Eşbütünleşme Test Sonuçları

<i>Testler</i>	<i>Panel</i>
Durbin-H grup istatistik	1.467** [0.019]
Durbin-H panel istatistik	1.908* [0.007]

Birim kök testi sonucunun I(0) ve I(1) düzeylerinde durağanlaşmasından dolayı, model için Westerlund (2008) testi (Durbin-H eşbütünleşme testi) uygulanmıştır. Çizelge 7’e göre, bu model için Durbin H-Grup istatistiği ve Durbin H-Panel istatistiğinde eşbütünleşme ilişkisinin olmadığı H_0 hipotezi reddedilerek seçilen ülkeler arasında eşbütünleşme ilişkisinin var olduğu kanıtlanmıştır (Çizelge 7).

Çizelge 8’de Eviews 12 paket programı ile hesaplanan Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Test sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge 8. Dumitrescu-Hurlin Panel Nedensellik Test Sonuçları

H₀ Hipotez	W İstatistik	Z-bar İstatistik	P-Değeri
KNT, TVE’nin Nedenseli değildir.	11.795	8.101	0.000*
BS, TVE’nin Nedenseli değildir.	8.102	4.948	0.000*
TVE, BS’nin Nedenseli değildir.	4.725	2.036	0.041**
KNT, TKD’nin Nedenseli değildir.	6.515	3.580	0.000*
TKD, KNT’in Nedenseli değildir.	7.284	4.243	0.000*
TKD, BS’nin Nedenseli değildir.	6.097	3.219	0.001*
KNT, TİS’nin Nedenseli değildir.	5.583	2.776	0.005*
TİS, KNT’in Nedenseli değildir.	5.988	3.125	0.001*
BS, TİS’nin Nedenseli değildir.	6.008	3.143	0.001*
BS, KNT’in Nedenseli değildir.	6.137	4.818	0.000*
KNT, BS’in Nedenseli değildir	4.526	1.864	0.062***

Not: *, ** ve*** sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde anlamlılığı ifade etmektedir.

Çizelge 8’e göre Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik test sonuçlarına dayanarak tarımsal verimlilik endeksinden (TVE) kentleşme oranına (KNT) doğru nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. İlgili bulgu, Süt (2021) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmektedir. Bunun yanı sıra beşeri sermaye endeksi (BS) ile TVE arasında çift yönlü bir ilişki bulunmuştur. Tarımsal katma değer GSYH’deki payı (TKD) ile KNT arasında nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Söz konusu bulgu, Erdinç ve Aydınbaş (2021) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmektedir. TKD’den tarımsal istihdama (TİS) doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunurken, TKD’den BS’ye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi saptanmıştır. Ayrıca KNT ile TİS arasında çift yönlü bir ilişki belirlenmiştir. HC’den TİS’e doğru tek yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Son olarak da KNT ile HC arasında ise çift yönlü bir nedensellik ilişkisi saptanmıştır. Söz konusu bulgu Ahmed ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmektedir (Çizelge 8).

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, BRICS-T ülkeleri için akıllı tarım (Tarım 4.0) bağlamında tarımsal verimlilik ile ilişkili faktörlerin 2000-2019 dönem aralığında panel veri analiz yöntemi ile araştırılmasıdır. Dumitrescu-Hurlin panel nedensellik test sonuçlarına göre tarımsal verimlilik endeksinden (TVE) kentleşme oranına (KNT) doğru nedensellik ilişkisi belirlenmiştir. İlgili bulgu, Süt (2021) tarafından yapılan çalışmayı da desteklemektedir. Bununla birlikte beşeri sermaye endeksi (BS) ile TVE arasında çift yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Tarımsal katma değer GSYH’deki payı (TKD) ile KNT arasında nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Söz konusu bulgu, Erdinç ve

Aydınbaş (2021) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmektedir. TKD'den tarımsal istihdama (TİS) doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunurken, TKD'den BS'ye doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi saptanmıştır. Ayrıca KNT ile TİS arasında çift yönlü bir ilişki belirlenmiştir. HC'den TİS'e doğru tek yönlü bir ilişki saptanmıştır. Son olarak da KNT ile HC arasında ise çift yönlü bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir. Söz konusu tespit, Ahmed ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmektedir.

Çalışmada elde edilen tarımsal verimlilik endeksi ile kentleşme oranı arasındaki ilişki bulgusuna yönelik politika önerilerini şu şekilde sıralamak mümkündür: (i) Tarım alanlarının belli bir plan dahilinde korunması ve kentleşmenin söz konusu alanlara yönlendirilmesiyle tarımsal verimlilik artırılabilir. (ii) Su kaynaklarının etkili biçimde yönetilmesi, sulama sistemlerinin geliştirilmesi ile su tasarrufu önlemleri sayesinde tarımsal verimlilik artırılabilir. (iii) Tarım uygulamalarının çevresel etkilerini azaltıcı yöntemlere odaklanması, uzun dönemde çevre ve verimlilik için faydalı sonuçlar yaratabilir. (iv) Çiftçiler arasında işbirliği ve bilgi paylaşımını teşvik edici yerel ağların oluşturulması, daha etkili tarım uygulamalara destek niteliğinde olabilir. Bu ağlar sayesinde çiftçiler, daha etkili bir şekilde bilgi ve deneyimlerini paylaşabilir, yeni teknikler öğrenebilir ve ortak problemlerle karşılaştıklarında bunlara çözüm üretebilir.

Beşeri sermaye endeksi ile tarımsal verimlilik arasındaki ilişki bulgusu doğrultusunda verilebilecek politik öneriler ise şu şekildedir: (i) Çiftçilere tarım teknikleri, gübre kullanımı, su yönetimi ve benzeri konulara yönelik eğitimler verilmesi ve bu doğrultuda bilgi aktarımının teşviki, beşeri sermayenin gelişimi için destekleyici nitelikte olabilir. (ii) Çiftçilerin sağlıklı olarak çalışabilmeleri adına sağlık hizmetlerine erişimin artırılması, beşeri sermayenin güçlenmesine katkı sağlayabilir. (iii) Tarım sektöründe çalışanların becerilerinin artırılması için eğitim programları ve istihdam olanakları sağlanması, beşeri sermayenin kalitesini artırabilir. (iv) Çiftçilerin modern tarım teknolojileri kullanımı konusunda desteklenmesi sayesinde beşeri sermayenin teknolojik altyapısı güçlendirilebilir.

Gelecekteki çalışmalar için ekonometrik analiz yapılabilecek düzeyde verilerin oluşturulabilmesi halinde araştırmacıların "Tarım ürünleri e-ticaretin pazar yapısına etkisi", "Çiftçilerin çevrimiçi platformlarda ürün satışının ekonomik sonuçları", "Çiftçilikteki otomasyonun verimlilik üzerine etkisi" ve davranışsal iktisat kapsamında "Çeşitli veri kaynaklarından temin edilen bilgilerin tarımsal üretim kararları üzerindeki etkisi" gibi konuları değerlendirmeleri önerilmektedir.

YAZAR ORCID NUMARASI

Gökçen Aydınbaş  <https://orcid.org/0000-0001-9435-5387>

KAYNAKLAR

- Ahmed, Z., Zafar, M.W., & Ali, S. (2020). Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: An empirical analysis. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102064.
- Alene, A. D. (2010). Productivity growth and the effects of R&D in African Agriculture. *Agricultural Economics*, 41(3-4), 223-2384. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2010.00450.x>
- Alper, A., & Oransay, G. (2015). Cari açık ve finansal gelişmişlik ilişkisinin panel nedensellik analizi ekseninde değerlendirilmesi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 1(2), 73-85. <https://doi.org/10.20979/ueyd.182896>
- Aydemir, S. (2023). Akıllı tarım makineleri Çin'de işgücü tasarrufu sağlıyor. <https://haber-alanya.com.tr/akilli-tarim-makineleri-cinde-ismucu-tasarrufu-sagliyor/> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Aydınbaş, G. (2023a). A Study on smart agriculture (agriculture 4.0) from an economic perspective. *BILTURK, The Journal of Economics and Related Studies*, 5(2), 63-86. doi: 10.47103/bilturk.1218500
- Aydınbaş, G. (2023b). Politik istikrar ve kişisel gelir arasındaki nedensellik ilişkisi: Brics ve Mist ülkeleri örneği. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26, 438-452. <https://doi.org/10.29029/busbed.1295438>
- Bekele, W. F. (2020). Determinants of agricultural technology adoption in Ethiopia: A meta-analysis. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1855817. doi: 10.1080/23311932.2020.1855817
- Boakye, A. Estimating agriculture technologies' impact on maize yield in rural South Africa. *SN Business & Economics*, 3, 149 (2023). <https://doi.org/10.1007/s43546-023-00530-4>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange Multiplier Test and its Applications to Model Specification in Econometrics, *The Review of Economic Studies*, 47(1), Pages 239-253, <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Bulut, R. (2021). Dünya ve Türkiye tarımında makineleşme. *Göller Bölgesi Aylık Ekonomi ve Kültür Dergisi Ayrıntı*, 9(105), Aralık 2021. <https://www.dergiayrinti.com/index.php/ayr/article/view/1607> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)

- Chandio, A. A., Jiang, Y., Rehman, A. and Rauf, A. (2020). Short and Long-Run Impacts of Climate Change on Agriculture: An Empirical Evidence from China. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12: 201-221.
- DEİK, 2013. Güney Afrika ülke bülteni. [www.deik.org.tr › uploads › guney-afrika-ulke-bulteni-2013](http://www.deik.org.tr/uploads/guney-afrika-ulke-bulteni-2013) (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for granger noncausality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450-1460. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
- Dünya Bankası, 2021, <https://www.worldbank.org/tr/country/turkey>
- Ercan, Ş., Öztep, R., Güler, D., & Saner, G. (2019). Tarım 4.0 ve Türkiye'de uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25(2), 259-265.
- Erdinç, Z., & Aydınbaş, G. (2021). Panel Data Analysis of Value-Added Agriculture Determinants. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 21(1): 213-232.
- Fedotova, G. V., Larionova, I. S., Maramygin, M. S., Sigidov, Yu I., & Bolaev, B. K., Kulikova, N. N. (2020). Agriculture 4.0. as a New Vector Towards Increasing the Food Security in Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677, IV International Scientific Conference: AGRITECH-IV-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies (18-20, November, Krasnoyarsk, Russian Federation) doi: 10.1088/1755-1315/677/3/032016
- Güneş, M., 2023. Güney Afrika ve Türkiye'nin tarım yönünden karşılaştırılması. <https://www.afrikacalismalarimerkezi.com/guney-afrika-ve-turkiyenin-tarim-yonunden-karsilastirilmasi/> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- IBEF, 2023. Agriculture 4.0: Future of Indian Agriculture. <https://www.ibef.org/agriculture-4-0-future-of-indian-agriculture> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Invest in Turkey. 2021. Turkish agri-food industry outlook. <https://www.invest.gov.tr/tr/sectors/sayfalar/agrofood.aspx> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- İTTM, 2019. Türk tarımının global entegrasyonu ve Tarım 4.0. <https://itb.org.tr/dosya/akillitarimrapor/proje-sonuc-raporu.pdf?1553592263> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Jiang, Q., Jizhi, L., Hongyun, S. and Yangyue, S. (2022). The Impact of The Digital Economy on Agricultural Green Development: Evidence from China. *Agriculture*, 12(8), 1107. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081107>
- Kaya, M. (2019). Smart farming (Agriculture 4.0) Proposal for the Development of Ağrı. *Akademik Bakış Dergisi*, (75), 130-156.
- Koç, A. A., Bayaner, A., Uysal, P., & Subaşı, S. 2016. Factor Demand and Total Factor Productivity in Turkish Agriculture. VII. Tarım Ekonomisi Kongresi (25-27 Mayıs, Isparta), 859-869 ss.
- Kurt, C. A., 2023. Hindistan Blockchain'i tarım verimini desteklemek için kullanacak. <https://tr.cointelegraph.com/news/blockchain-to-support-agricultural-exports-to-be-used>
- Mendes, V., & Viola, E. (2023). Green digitalization? Agriculture 4.0 and the Challenges of Environmental Governance in Brazil. In: Søndergaard, N., de Sá, C. D., Barros-Platiau, A. F. (eds) *"Sustainability Challenges of Brazilian Agriculture"*. Environment & Policy, 64, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29853-0_11
- Nadezhda V. O., & Dmitry V. N. (2022). Russian Agricultural Innovations Prospects in the Context of Global Challenges: Agriculture 4.0. *Russian Journal of Economics*, ARPHA Platform, 8(1), 29-48.
- Oğul, B. (2022). Tarımsal Destekler ve Tarımsal Üretim İlişkisi: Türkiye Ekonomisi Üzerine Ampirik Bulgular. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 44-56.
- Pakdemirli, B., (2019). R&D Expenditures and Growth: An Empirical Analysis on Agricultural Sector of Turkey. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(3), 342-348. doi: 10.19159/tutad.626298
- Peng, J, Zhao, Z., & Liu, D. (2022). Impact of Agricultural Mechanization on Agricultural Production, Income, and Mechanism: Evidence From Hubei Province, China. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.838686>
- Pesaran, H. M. (2007). A Simple Panel Unit Root Test in the Presence of Cross-Section Dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265-312.
- Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing Slope Homogeneity in Large Panels. *Journal of Econometrics*, 142(1), 50-93.
- Soyyigit, S., & Akyol, M. (2021). The Impact of Public R&D Supports on the Increase of Agricultural Productivity: The Case of the EU Member Transition Economies. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 8(1), 30-42. doi: 10.30910/turkjans.726440
- Subaşı, O., & Ören, M. (2013). The Relationship between Agricultural Research Expenditures and Agricultural Growth in Turkey. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 26(2), 99-104.

- Sun, L., Zhu, D., & Chen, A. (2023). Research on the Relationship Between Agricultural Mechanisation and Economic Development Based on Big Data Analysis. In book: Proceedings of the 2022 International Conference on Bigdata Blockchain and Economy Management (ICBBEM) (pp.712-720). doi:10.2991/978-94-6463-030-5_71
- Süt, A. T. (2021). Gelişmekte Olan Ülkelerde Kentleşmenin Tarımsal Verimlilik Üzerindeki Etkisi. International Eurasian Economic Conference (Ağustos 2021, İstanbul), 493-499 ss. <https://avekon.org/papers/2504.pdf>
- Şahin Ulucan, A., 2020. Tarım makineleri ihracatında rekor. <http://turktarim.gov.tr/Haber/403/tarim-makineleri-ihracatinda-rekor> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Tandoğan, N. Ş. (2022). How Effective is Agricultural Mechanization on Agricultural Production? A Panel Data Analysis. *Turkish Journal of Agricultural Economics (TJAE)*, 28(1), 13-20. doi: 10.24181/tarekoder.1013081
- T.C. Moskova Büyükelçiliği Ticaret Müşavirliği, 2022. Rusya Federasyonu tarım alet ve makineleri raporu. <https://ticaret.gov.tr/data/5bcc5d4813b876034cfece26/Rusya%20Tar%C4%B1m%20Alet%20ve%20Makinalar%C4%B1%20Raporu%202022.pdf> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020. <https://Arastirma.Tarimorman.Gov.Tr/Koyunculuk/Menu/76/Tarim-4-0>. (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- T.C. Yatırım Ofisi, 2023. Makine. <https://www.invest.gov.tr/tr/sectors/Sayfalar/machinery.aspx> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Thomala, L., 2020. Number of internet users in China from 2017 to 2023. Statista.
- Xiaoming, G., Sen, H., & Yu, W. (2020). Influence of Agricultural Mechanization Development on Agricultural Green Transformation in Western China, Based on the ML Index and Spatial Panel Model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1-17. doi: 10.1155/2020/6351802
- USDA, Economic Research Service, 2021, <https://www.ers.usda.gov/> (Erişim Tarihi: 13.11.2023)
- Viola, E., & Mendes, V. (2022). Agriculture 4.0 and Climate Change in Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 25(1), 1-23.
- Yavuz, M. S., Bozkurt G., Kayacan, M., & Çelik, E. İ. (2022). The Relationship Between Alternative Financial Assets and Stock Markets: BRICS-T Example. *The Academic Elegance*, 9(19), 393-413.
- Yücel, M. H., & Çalışkan, Z. (2020). The Impact of Agricultural Productivity and Mechanization on Agricultural Employment: Turkey Case. *Ekonomik Yaklaşım Dergisi*, 31(117), 525-553.
- Westerlund, J. (2008). Panel Cointegration Tests of The Fisher Effect, *Journal of Applied Econometrics*, 23, 193-233.