

Dijital Dönüşüm ve İnsani Gelişmişlik: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Analiz

Digital Transformation and Human Development: An Empirical Analysis of Turkey

Burcu KARACA*

* Dr., Muğla Sıtkı
Koçman Üniversitesi,
İktisat Ana Bilim Dalı
ORCID: 0000-0002-
8186-3937
E-mail:
burcukaraca09@gmail.c
om

Makale Türü
Article Type
Araştırma. Makalesi

Geliş Tarihi
Recieved
21.04.2026

Kabul Tarihi
Accepted
01.06.2026

Önerilen Atıf Şekli /
Recommended Citation:

Karaca, B. (2026). Dijital
Dönüşüm ve İnsani
Gelişmişlik: Türkiye
Üzerine Ampirik Bir
Analiz *Akşehir Meslek
Yüksekokulu Sosyal
Bilimler Dergisi*, 21, 78-
89.

ÖZET

Dijital dönüşüm ve yenilik temelli büyüme süreçleri, ülkelerin üretkenlik yapısı, ekonomik performansı ve toplumsal refah düzeyi üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Ar-Ge faaliyetleri ile bilgi ve iletişim teknolojilerinin yaygınlaşması, eğitim, sağlık ve gelir olanaklarını iyileştirerek insani gelişmişliği destekleyen temel dinamikler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte dijitalleşmenin kapsayıcılık boyutu ve ortaya çıkardığı dağılımsal etkiler, politika yapıcılar açısından önemini koruyan bir tartışma alanı oluşturmaktadır. Bu çalışma, 1990–2022 dönemi için Türkiye’de Ar-Ge harcamaları ile orta ve yüksek teknoloji ihracatının insani gelişmişlik üzerindeki etkilerini incelemektedir. Çalışmada dijital dönüşüm ile insani gelişmişlik arasındaki ilişki, ekonometrik yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, Ar-Ge harcamaları ile orta ve yüksek teknoloji ihracatının insani gelişmişlik üzerinde pozitif ve anlamlı etkiler yarattığını göstermektedir. Sonuçlar, dijital dönüşümün ekonomik büyümenin yanı sıra eğitim, sağlık ve yaşam standartları üzerinde de olumlu katkılar sağladığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, dijitalleşme sürecinin toplumsal kapsayıcılığı artıracak politikalarla desteklenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Tanısal testler modelde otokorelasyon ve değişen varyans bulunmadığını göstermektedir. Bu doğrultuda çalışma, Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma ve insani gelişmişliğin artırılmasında teknoloji ve yenilik odaklı politikaların önemine dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ar-Ge Harcamaları, Orta ve Yüksek Teknoloji İhracatı, İnsani Gelişmişlik Endeksi, Sürdürülebilir Kalkınma, Johansen Eşbütünleşme,

Jel Sınıflandırması: C22, O3, O14, O32

ABSTRACT

Digital transformation and innovation-based growth processes have significant impacts on countries' productivity structures, economic performance, and social welfare levels. Research and development activities and the widespread adoption of information and communication technologies are among the fundamental dynamics that support human development by improving education, health, and income opportunities. However, the inclusivity dimension of digitalization and its distributional effects remain a key area of debate for policymakers. This study examines the impact of R&D expenditures and medium- and high-technology exports on human development in Turkey for the period 1990–2022. The relationship between digital transformation and human development is analyzed using econometric methods. The findings show that R&D expenditures and medium- and high-technology exports have positive and significant effects on human development. The results reveal that digital transformation contributes positively not only to economic growth but also to education, health, and living standards. However, it is understood that the digitalization process should be supported by policies that increase social inclusion. Diagnostic tests show that there is no autocorrelation or heteroskedasticity in the model. In this context, the study draws attention to the importance of technology and innovation-oriented policies in achieving sustainable development and increasing human development in Turkey.

Keywords: R&D Expenditures, Medium and High Technology Exports, Human Development Index, Sustainable Development, Johansen Cointegration

JEL Classification Codes: C22, O3, O14, O32

GİRİŞ

Dijital dönüşüm, günümüzün ekonomik yapısını dönüştüren temel itici güçlerden biri olarak yalnızca üretim süreçlerini ve iş yapma biçimlerini değil aynı zamanda toplumların insani gelişme düzeylerini de derinden etkilemektedir. Dijital dönüşüm, Vial'e (2019) göre işletmelerin dijitalleşen dünyada etkin biçimde rekabet edebilmek amacıyla iş süreçlerini ve uygulamalarını yeniden yapılandırarak benimsemelerini ifade etmekte; bu yönüyle önceki bilgi teknolojileri (BT) destekli dönüşümlerden hem hız hem de bütüncül yapısı bakımından ayrılmaktadır. Benzer şekilde Klein (2020), dijital dönüşümü yalnızca bilgisayar ve internet kullanımının yaygınlaşması olarak değil; büyük veri, yapay zekâ, bulut bilişim ve sosyal medya gibi ileri dijital teknolojilerin işletme süreçlerine nüfuz ederek yeni iş modelleri yaratması olarak tanımlamaktadır. Reis ve arkadaşları (2018) ise dijital dönüşümü, ticari yapıları dönüştüren ve bireylerin günlük yaşamını çok boyutlu olarak etkileyen dijital teknolojilerin kullanımı olarak ele almaktadır.

Bu tanımlar ortak bir noktaya işaret etmektedir: Dijital dönüşüm, ekonomik yapıyı yeniden şekillendiren, verimliliği artıran ve yenilikçiliği teşvik eden bir süreçtir. Ancak bu dönüşümü yalnızca üretim ve ekonomik büyüme çerçevesinde değerlendirmek eksik bir yaklaşım olacaktır. Dijital teknolojilerin yaygınlaşması, bireylerin bilgiye erişim, öğrenme ve problem çözme kapasitelerini artırarak iş gücü piyasasında daha yüksek verimlilik ve gelir elde etmelerine olanak tanımaktadır. Bu süreç, bireylerin sahip olduğu bilgi, beceri ve yetkinliklerin ekonomik değerini ifade eden beşeri sermayenin güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla dijital dönüşüm, yalnızca ekonomik performansı kapsamamakta aynı zamanda bireylerin yaşam kalitesi ve refah düzeyi gibi daha geniş insani gelişme göstergelerini de etkilemektedir.

Bu noktada, insani gelişmenin ölçülmesine yönelik en temel göstergelerden biri olan İnsani Gelişme Endeksi (HDI), Mahbub ul Haq tarafından 1990 yılında geliştirilmiş olup refahı yalnızca gelir ile ifade etmeyip, eğitim ve sağlık boyutlarıyla birlikte değerlendirmektedir. Endeks; doğumda yaşam beklentisi, eğitim göstergeleri ve kişi başına düşen gelir değişkenleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, 2004). 2010 yılı itibarıyla HDI hesaplama yönteminde değişikliğe gidilmiş ve sağlık, eğitim ile gelir endekslerinin aritmetik ortalaması yerine geometrik ortalaması kullanılmaya başlanmıştır (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, 2010).

Güncel yaklaşımda endeks; uzun ve sağlıklı yaşam, bilgiye erişim ve yaşam standardı olmak üzere üç temel boyuta dayanmaktadır. Bu çerçevede doğumda yaşam beklentisi, ortalama ve beklenen okullaşma süreleri ile kişi başına düşen gelir kullanılarak alt endeksler oluşturulmakta ve bunların geometrik ortalaması HDI'ı vermektedir. Zamanla HDI'ı tamamlayıcı nitelikte geliştirilen Çok Boyutlu Yoksulluk Endeksi (MPI), Toplumsal Cinsiyet Gelişme Endeksi (GDI), Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliği Endeksi (GII) ve Gezegensel Baskılara Uyarlanmış HDI (PHDI) gibi göstergeler ise insani gelişmeyi daha kapsamlı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, 2020).

İnsani gelişme endeksini oluşturan gelir, sağlık ve eğitim bileşenlerine ek olarak, dijital teknolojilerin üretim süreçlerine ve gündelik yaşama entegrasyonu da günümüzde kalkınma dinamiklerini yeniden şekillendirmektedir. Dijital dönüşüm; bilgiye erişimi kolaylaştırması, kamu ve özel hizmetlerin sunumunu iyileştirmesi, üretkenliği artırması ve beşeri sermayenin niteliğini geliştirmesi yoluyla toplumların refah düzeyi üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler yaratmaktadır. Bu yönüyle dijitalleşme, yalnızca ekonomik büyümenin değil, aynı zamanda insan odaklı kalkınma süreçlerinin de önemli bir belirleyicisi olarak öne çıkmakta ve insani gelişmenin kapsamını genişleten yeni bir dinamik alan oluşturmaktadır (Yıldırım, 2025: 252).

Bu bağlamda, dijital dönüşüm ile insani gelişme arasındaki ilişkinin güncel eğilimler çerçevesinde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Nitekim Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (United Nations Development Programme) tarafından yayımlanan 2025 İnsani Gelişme Raporu, dijital dönüşümün özellikle yapay zekâ ile birlikte yeni bir aşamaya ulaştığını ortaya koymakta ve bu teknolojiyi “yeni elektrik” olarak tanımlamaktadır. Bununla birlikte rapor, teknolojik ilerlemenin tek başına insani gelişmeyi garanti etmediğini; asıl belirleyici unsurun insan tercihleri, politika tasarımları ve kurumsal yapıların niteliği olduğunu vurgulamaktadır. İnsani gelişmenin özünde bireylerin özgürlüklerinin ve yaşam kalitesinin artırılması yer almakta olup dijital teknolojiler bu sürece ancak insan kapasitesini desteklediği ölçüde katkı sunabilmektedir. Raporda ayrıca küresel ölçekte insani gelişme artış hızının yavaşladığı ve ülkeler arasındaki gelişmişlik farklarının yeniden açılma eğilimi gösterdiği belirtilmekte; bu durum dijitalleşme sürecinde ortaya çıkan eşitsizlik risklerine dikkat çekmektedir. Bu çerçevede öne çıkan “tamamlayıcılık ekonomisi” yaklaşımı, teknolojinin insan emeğinin yerine geçen değil, onu destekleyen ve güçlendiren bir unsur olarak konumlandırılması gerektiğini ifade etmektedir. Dolayısıyla dijital

dönüşümün insani gelişmeye katkı sağlayabilmesi, büyük ölçüde kapsayıcı politikaların geliştirilmesine, beşeri sermayeye yapılan yatırımlara ve dijital yetkinliklerin artırılmasına bağlıdır. Bu yönüyle rapor, dijitalleşme–insani gelişme ilişkisini yalnızca teorik bir çerçevede alınmamış aynı zamanda politika temelli bir perspektifle ele alarak bu çalışmanın analiz çerçevesini destekleyen güncel bir referans sunmaktadır (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı, 2025).

Bu çalışma yukarıda verilen değerlendirmelerden hareketle, dijital dönüşümün insani gelişme üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda dijital dönüşüm göstergeleri olarak Ar-Ge harcamaları ile orta ve yüksek teknoloji ihracatı ele alınmakta ve söz konusu değişkenlerin Türkiye’de insani gelişmişlik üzerindeki uzun dönemli etkileri analiz edilmektedir. Bu değişkenlerin tercih edilmesi, dijitalleşmenin hem üretim kapasitesi hem de bilgi ve teknoloji temelli dönüşüm boyutlarını temsil etmesi açısından önem taşımaktadır. Böylece çalışma, dijital dönüşümü yalnızca üretim ve istihdam bağlamında ele almayıp; eğitim, sağlık ve yaşam standardı gibi insani gelişmenin temel bileşenlerini içeren bütüncül bir çerçevede değerlendirmektedir. Bu yönüyle analiz, dijitalleşmenin beşeri sermaye ve refah üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, insan odaklı kalkınma yaklaşımıyla uyumlu bir perspektif sunmayı mümkün kılmaktadır.

LİTERATÜR TARAMASI

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, dijitalleşmenin insani gelişme üzerindeki etkisinin çoğunlukla pozitif olduğu ancak bu etkinin ülkelerin gelişmişlik düzeyi, dijital altyapı kapasitesi ve kurumsal yapısına bağlı olarak farklılaştığı görülmektedir. Ayrıca dijital eşitsizlikler, beşeri sermaye niteliği ve teknolojinin kullanım biçimi, elde edilen sonuçlar üzerinde belirleyici faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, dijitalleşmenin insani gelişme üzerindeki etkilerinin farklı ülke grupları ve değişken setleri çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Tablo 1’de yer alan çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, dijitalleşme göstergeleri ile insani gelişme arasındaki ilişkinin genel olarak pozitif yönde olduğu görülmektedir. Özellikle Badri vd. (2019), Zghidi ve Trabelsi (2025) ile Djunaedi (2021) çalışmalarında dijital altyapı, BİT ve geniş bant erişimi gibi göstergelerin insani gelişme ve beşeri sermaye üzerinde güçlü etkiler oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar, teknoloji yoğun göstergelerin insani gelişmeyi desteklediği konusunda ortak bir eğilim göstermektedir.

Bununla birlikte, dijitalleşmenin beşeri sermaye ile ilişkisini daha doğrudan ele alan çalışmalar ile insani gelişme odağında çalışan araştırmalar arasında vurgu farklılıkları bulunmaktadır. Shevchenko vd. (2023) ve Kyrychenko (2019) beşeri sermaye boyutuna odaklanarak dijitalleşmenin eğitim ve bilgi üretim süreçlerini güçlendirdiğini ortaya koyarken, Badri vd. (2019) ve Zghidi ve Trabelsi (2025) gibi çalışmalar daha çok makro düzeyde insani gelişme göstergelerine odaklanmaktadır. Bu durum, literatürde beşeri sermaye ve HDI düzey analizler arasında analitik çerçeve açısında farklılık bulunduğunu göstermektedir.

Kurumsal yapı ve kamu politikalarının ele alındığı çalışmalar da literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Pahlevi (2017) ve Edeme ve Nkalu (2019) kamu harcamaları ve kurumsal kaliteyi ön plana çıkararak insani gelişmenin yalnızca dijital göstergelerle açıklanamayacağını göstermektedir. Buna karşılık Paul ve Adams (2024), dijital yönetim uygulamalarının kurumsal kaliteyi güçlendirdiğini ve bu mekanizma üzerinden insani gelişmeyi dolaylı olarak desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, dijitalleşmenin etkisinin doğrudan olduğu kadar dolaylı kanallar üzerinden de gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Öte yandan literatürde dijitalleşmenin her koşulda pozitif sonuçlar üretmediğini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Mahfudj ve Aisyah (2025), bazı gelişmekte olan ülkelerde dijitalleşmenin insani gelişme üzerinde negatif etkiler oluşturduğunu belirtirken, Ivanová vd. (2021) bu durumun temel nedenini dijital beceri eksikliği ve yetersiz Ar-Ge kapasitesi olarak açıklamaktadır. Bu çalışmalar, Zghidi ve Trabelsi (2025) ile karşılaştırıldığında, dijitalleşmenin etkisinin ülke gelişmişlik düzeyine bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir.

Nedensellik ilişkilerini ele alan çalışmalar ise literatüre dinamik bir bakış açısı kazandırmaktadır. Xholo vd. (2025) ve Yıldırım (2025), dijitalleşme, eğitim ve insani gelişme arasında uzun dönemli ve karşılıklı ilişkiler bulunduğunu ortaya koyarken, bu sonuçlar dijital dönüşümün tek yönlü değil, etkileşimli bir süreç olduğunu göstermektedir. Buna karşılık bazı çalışmalar, Ar-Ge ve çevresel yatırımlar gibi tamamlayıcı faktörlerin de insani gelişme üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamaktadır (Edeme, 2023).

Genel olarak literatür birlikte değerlendirildiğinde, dijitalleşmenin insani gelişme üzerindeki etkisinin büyük ölçüde pozitif olduğu ancak bu etkinin yönü ve şiddetinin kurumsal yapı, beşeri sermaye düzeyi ve dijital

altyapı kapasitesine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu durum, Tablo 1’de sunulan çalışmaların da ortaya koyduğu üzere dijital dönüşümün insani gelişme üzerindeki etkisinin çok boyutlu ve bağlama duyarlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Literatür Özeti

Yazar(lar)	Yıl	Dönem / Örneklem	Kullanılan Değişkenler	Yöntem	Temel Sonuç / Bulgular	İlişki / Etki
Pahlevi	2017	2008–2012 / Endonezya eyaletleri	Sağlık, eğitim, kurumsal kalite, HDI	Panel veri analizi	Eğitim ve sağlık harcamalarının yanı sıra kurumsal kalite göstergelerinin insani gelişme üzerinde güçlü ve anlamlı etkiler yarattığı belirlenmiştir. Özellikle yönetim kapasitesinin artması kamu kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlayarak HDI’yi yükseltmektedir.	Kurumsal kalite → HDI pozitif olarak etkilemektedir.
Kyrychenko	2019	Kavramsal	Dijital teknolojiler, beşeri sermaye, sosyal sermaye	Kavramsal analiz	Dijitalleşmenin bilgi üretim süreçlerini hızlandığı, bireyler arası etkileşimi artırdığı ve öğrenme kapasitesini geliştirdiği vurgulanmıştır. Dijital teknolojiler sosyal ve beşeri sermaye birikimini destekleyen önemli bir yapısal dönüşüm olarak değerlendirilmiştir.	Dijitalleşme → Beşeri sermayeyi pozitif olarak etkilemektedir.
Badri vd.	2019	2012–2017 /Gelişmekte olan ülkeler	BİT, DYY, katma değer, enflasyon, HDI	Panel veri analizi	BİT’in insani gelişme üzerinde anlamlı ve pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir. DYY ve ekonomik katma değer HDI’yi desteklerken, enflasyonun olumsuz etkisi olduğu ortaya konmuştur.	BİT → HDI pozitif olarak etkilemektedir
Edeme & Nkalu	2019	2007–2017 / Nijerya eyaletleri	Kamu harcamaları, HDI	Sabit etkiler panel regresyon	Eğitim, sağlık ve altyapı harcamalarının insani gelişme üzerinde güçlü etkiler yarattığı görülmüştür. Kaynak tahsisinin niteliği belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır.	Kamu harcamaları → HDI pozitif olarak etkilemektedir
Djunaedi	2021	2011–2019 / Endonezya (33 il)	Geniş bant, internet kullanımı, GSYİH, HDI	Panel veri (FE/RE)	Geniş bant altyapısının insani gelişme üzerindeki etkisinin ekonomik büyümeden daha güçlü olduğu belirlenmiştir. Dijital penetrasyonun HDI’yi yüksek açıklama gücüne sahip olduğu tespit edilmiştir.	Dijitalleşme → HDI pozitif olarak etkilemektedir.
Ivanová vd.	2021	2010–2019 / Slovakya	Eğitim, dijital beceriler, Ar-Ge	Zaman serisi, korelasyon	Eğitim düzeyi artmasına rağmen dijital beceri eksikliği ve düşük Ar-Ge harcamalarının insani	Dijital kapasite → HDI pozitif

					gelişmeyi sınırladığı olarak belirlenmiştir. Dijital yetkinliklerin kritik rol oynadığı vurgulanmıştır.	etkilemektedir.
Shevchenko vd.	2023	Ukrayna (anket)	Eğitim endeksi, BİT, beşeri sermaye	Korelasyon + regresyon	Eğitim ve BİT gelişiminin beşeri sermaye üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Dijitalleşme ile beşeri sermaye arasında karşılıklı etkileşim olduğu ortaya konmuştur.	BİT → Beşeri sermayeyi pozitif olarak etkilemektedir.
Edeme	2023	2000–2019 / 40 ülke	AR-GE, çevre harcamaları, yaşam beklentisi	Sabit etkiler panel regresyon	Çevre ve Ar-Ge harcamalarının yaşam beklentisini artırarak insani gelişmeyi desteklediği belirlenmiştir. Sürdürülebilir kalkınma politikalarının önemi vurgulanmıştır.	AR-GE → insani gelişmeyi pozitif olarak etkilemektedir.
Başol & Yalçın	2024	2022 / 27 AB ülkesi	DESI, yaşam kalitesi	Yapısal eşitlik modeli	Dijital ekonomi ve toplum göstergelerinin yaşam kalitesi üzerinde anlamlı ve pozitif etkileri olduğu belirlenmiştir. Dijital kamu hizmetleri ve bağlantılılık öne çıkmaktadır.	Dijitalleşme → yaşam kalitesini pozitif olarak etkilemektedir.
Paul & Adams	2024	2012–2020 / Sahra Altı Afrika	EGDI, ISE, CHE, TII, CPI	Panel veri analizi	Dijital yönetim göstergelerinin kurumsal kaliteyi artırdığı ve yolsuzluğu azalttığı tespit edilmiştir. Dijital altyapının yönetim üzerinde dolaylı etkisi vardır.	Dijital yönetim → kurumsal kaliteyi pozitif olarak etkilemektedir.
Yıldırım	2025	2010–2021 / 15 OECD ülkesi	ISE, CHE, AR-GE, HDI	Panel veri (eşbütünleşme, nedensellik)	İnsan sermayesi ile HDI arasında çift yönlü nedensellik bulunmuştur. Çevrimiçi hizmetlerden HDI'ya tek yönlü nedensellik tespit edilmiştir. Ar-Ge ile HDI arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır.	ISE ↔ HDI çift yönlü, CHE → HDI pozitif olarak etkilemektedir.
Xholo vd.	2025	Güney Afrika	Dijitalleşme, eğitim, HDI	ARDL + nedensellik	Dijitalleşme ve eğitimin uzun dönemde insani gelişme üzerinde güçlü ve kalıcı etkiler yarattığı belirlenmiştir. Dijital altyapı yatırımlarının dolaylı katkı sağladığı ifade edilmiştir.	Dijitalleşme → HDI pozitif olarak etkilemektedir.
Zghidi & Trabelsi	2025	2000–2020 / 55 ülke	İnternet, mobil, geniş bant, HDI	GMM panel	Dijital göstergelerin HDI üzerinde güçlü etkileri olduğu ancak bu etkinin ülke gelişmişlik düzeyine göre değiştiği belirlenmiştir. Dijital eşitsizliklerin etkisi vurgulanmıştır.	Dijitalleşme → HDI pozitif (heterojen) olarak etkilemektedir.

Mahfudj & Aisyah	2025	2015–2022 / ASEAN	Dijitalleşme, büyüme, gelir, HDI	Panel veri (FEM)	Kişi başına gelirin HDI'yi artırdığı, ancak dijitalleşmenin bazı ülkelerde negatif etkiler yarattığı belirlenmiştir. Dijital eşitsizlik ve verimsizlikler etkili olmuştur.	Dijitalleşme → HDI negatif/karma olarak etkilemektedir.
Marukhlenko vd.	2025	2010–2024 / Ukrayna	HDI, EGDI, EPI	Regresyon	E-devlet gelişim endeksinin insani gelişme üzerinde güçlü ve anlamlı pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir ($\beta=0.2520$). Dijital yatırımların etkisinin gecikmeli ortaya çıktığı vurgulanmıştır.	EGDI → HDI pozitif olarak etkilemektedir.

VERİ SETİ VE EKONOMETRİK YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye'ye ait 1990–2022 dönemine ilişkin yıllık veriler kullanılmıştır. İnsani gelişme endeksi verileri Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından yayımlanan insan kalkınma raporlarından, Ar-Ge harcamaları ile orta ve yüksek teknoloji ihracatı verileri ise World Bank veri tabanından elde edilmiştir. Ar-Ge harcamaları değişkeni gayrisafi yurtiçi hasıla içerisindeki pay (%) olarak, orta ve yüksek teknoloji ihracatı değişkeni ise imalat sanayi ihracatı içerisindeki pay (%) olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dönem, değişkenlerin uzun dönemli eğilimlerini analiz etmeye olanak sağlayan ve veri sürekliliğini sağlayan en geniş zaman aralığını kapsamaktadır. Araştırmada bağımlı değişken olarak İnsani Gelişim Endeksi (İGE), bağımsız değişkenler olarak ise Ar-Ge harcamaları ile orta ve yüksek teknoloji ihracatı kullanılmıştır. Çalışmada yer alan değişkenlere ilişkin kısaltmalar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Kullanılan Veri Tanımları

Kullanılan Değişkenler	Kısaltması	Değişkenin Türü
İnsani Gelişmişlik Endeksi	İGE	Bağımlı Değişken
Ar-Ge Harcamaları (%)	ARGEH	Bağımsız Değişken
Orta ve Yüksek Teknoloji İhracatı (%)	OYTEKİHR	Bağımsız Değişken

Ekonometrik analiz sürecinde ilk aşamada serilerin durağanlık yapısı Augmented Dickey–Fuller (ADF) ve Philips-Perron (PP) birim kök testleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, tüm değişkenlerin birinci farkları alındığında durağan hale geldiğini yani $I(1)$ düzeyinde bütünleşik olduklarını ortaya koymuştur. Değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkilerin varlığını incelemek amacıyla Johansen eşbütünleşme testi uygulanmış ve analiz sonuçları en az bir eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğunu göstermiştir. Uzun dönem dengesinin belirlenmesini takiben, kısa dönem dinamiklerini analiz edebilmek için hata düzeltme modeli (VECM) kurulmuştur. Bunun yanı sıra modelin geçerliliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla otokorelasyon, değişen varyans ve normallik testlerinden yararlanılmıştır.

Zaman serisi analizlerinde güvenilir ve tutarlı sonuçlar elde edilebilmesi, kullanılan serilerin durağanlık özelliği taşımasına bağlıdır. Zaman içerisinde ortalaması ve varyansı değişmeyen seriler durağan olarak kabul edilirken, bu özellikleri göstermeyen seriler durağan olmayan yapıdadır. Durağan olmayan serilerle gerçekleştirilen analizlerde, değişkenler arasında gerçekte bulunmayan ancak ortak eğilimlerden kaynaklanan ilişkiler ortaya çıkabilmekte ve bu durum sahte regresyon problemine neden olabilmektedir. Bu nedenle, analiz sürecinin başlangıcında serilerin durağanlık düzeyleri test edilerek bütünleşme derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Serilerin aynı düzeyde bütünleşik olması ise aralarındaki uzun dönemli ilişkilerin incelenmesine olanak tanımaktadır (Gujarati, 1999: 713).

Bu bağlamda, durağan olmayan ancak aynı dereceden bütünleşik seriler arasındaki uzun dönemli ilişkilerin ortaya konulmasında eşbütünleşme analizi önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Eşbütünleşme analizi, durağan olmayan zaman serileri arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığını belirlemek amacıyla geliştirilmiş bir yaklaşımdır. Bu yöntem, düzey değerlerinde durağan olmayan ancak aynı dereceden farkları alındığında durağan hale gelen serilerin orijinal halleriyle analiz

edilmesine imkân tanımaktadır. Bilindiği üzere, fark alma işlemi kısa dönemli dalgalanmaların etkisini ortadan kaldırırken, uzun dönemli ilişkilerin de kaybolmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, farkı alınmış serilerle yapılan geleneksel regresyon analizleri, değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkileri sağlıklı biçimde yansıtamamaktadır. Eşbütünleşme yöntemi ise bu sınırlılığı ortadan kaldırarak, hem kısa hem de uzun dönem dinamiklerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca eşbütünleşik seriler için hata düzeltme modelinin kurulabilmesi, kısa dönem sapmalar ile uzun dönem denge ilişkilerinin ayrıştırılmasına imkân veren önemli bir avantaj sunmaktadır (Işık vd., 2004: 332).

Bu genel çerçeve doğrultusunda, çok değişkenli sistemlerde eşbütünleşme ilişkilerinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Johansen eşbütünleşme testidir. Söz konusu test, birden fazla zaman serisi arasında uzun dönemli denge ilişkilerinin varlığını ve sayısını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Johansen yaklaşımı, bu ilişkilerin belirlenmesinde İz (Trace) testi ve Maksimum Özdeğer (Maximum Eigenvalue) testi olmak üzere iki temel istatistikten yararlanmaktadır. Bu testler aracılığıyla hem eşbütünleşme ilişkilerinin varlığı hem de kaç adet eşbütünleşme vektörünün bulunduğu tespit edilebilmektedir. Elde edilen bulgular, uzun dönemde birlikte hareket eden değişkenler arasında istikrarlı bir denge yapısının varlığına işaret etmektedir (Sünbül, 2025: 320–321).

Bu kapsamda analiz sürecinin ilk adımı, serilerin durağanlık özelliklerinin birim kök testleri ile incelenerek bütünleşme derecelerinin belirlenmesidir. Ardından uygun gecikme uzunluğu seçilerek VAR modeli kurulmakta ve değişkenler arasındaki dinamik yapı analiz edilmektedir. Johansen testi sonucunda eşbütünleşme ilişkisinin varlığı tespit edildiğinde, uzun dönemli denge ilişkisi kabul edilmekte ve kısa dönem uyum süreçleri hata düzeltme modeli aracılığıyla incelenmektedir. İz ve maksimum özdeğer testlerinden elde edilen bulgular ise değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve sürekliliği hakkında bilgi sunarak modelin ekonomik anlamlılığının değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

AMPIİRİK BULGULAR

Çalışmada yer alan değişkenlerin zaman serisi analizine uygunluğunu değerlendirmek amacıyla durağanlık analizi, Augmented Dickey–Fuller (ADF) birim kök testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu test sayesinde serilerin birim kök içerip içermediği tespit edilerek hangi seviyede (düzey ya da fark alma sonrası) durağan hale geldikleri ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda, Türkiye’de insani gelişme endeksi, ar-ge harcamaları ve orta ve yüksek teknoloji ihracatına ilişkin veriler analiz öncesinde birim kök testlerine tabi tutulmuştur. Söz konusu testin Düzey I(0) sonuçları, Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. ADF ve PP Birim Kök Testi Düzey I (0) Sonuçları

Değişken	ADF Testi		PP Testi	
	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	Sabit ve Trend
İGE	0.205764	-1.919793	0.105157	-2.174093
ARGEH	0.118280	-1.532346	0.289364	-1.447646
OYTEKİHR	-2.075426	0.644510	-1.736600	-0.137265

Not: ADF ve PP testlerinde uygun gecikme uzunluğu Schwarz Bilgi Kriteri’ne göre belirlenmiştir. Kritik değerler sabitli model için sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde (-3.653730), (-2.957110) ve (-2.617434)’tür. Sabit ve trendli model için ise kritik değerler sırasıyla (-4.273277), (-3.557759) ve (-3.212361)’dir. Test istatistiklerinin mutlak değerce kritik değerlerden küçük olması nedeniyle serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdiği ve durağan olmadıkları tespit edilmiştir.

Tablo 3’te yer alan ADF ve PP birim kök testi sonuçlarına göre, çalışmada kullanılan İnsani Gelişmişlik Endeksi (İGE), Ar-Ge harcamaları (ARGEH) ve orta ve yüksek teknoloji ihracatı (OYTEKİHR) değişkenlerinin hem sabitli modelde hem de sabit ve trendli modelde düzey değerlerinde durağan olmadıkları belirlenmiştir. Elde edilen test istatistiklerinin kritik değerlerden mutlak değerce küçük olması nedeniyle serilerin düzeyde birim kök içerdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu doğrultuda serilerin durağan hale getirilebilmesi amacıyla birinci farkları alınarak analizlere devam edilmiştir.

Tablo 4. ADF ve PP Birim Kök Testi Düzey I (1) Sonuçları

Değişken	ADF Testi		PP Testi	
	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	Sabit ve Trend
İGE	-4.523448	-4.455736	-4.514267	-4.448387
ARGEH	-5.605300	-5.299033	-5.605300	-6.292021
OYTEKİHR	-3.760126	-4.944053	-3.741367	-4.945292

Not: ADF ve PP testlerinde uygun gecikme uzunluğu Schwarz Bilgi Kriteri’ne göre belirlenmiştir. Kritik değerler sabitli model için sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerinde (-3.653730), (-2.957110) ve (-2.617434)’tür. Sabit ve trendli model için ise kritik değerler sırasıyla (-4.273277), (-3.557759) ve (-3.212361)’dir. Test istatistiklerinin mutlak değerce kritik değerlerden küçük olması nedeniyle serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdiği ve durağan olmadıkları tespit edilmiştir.

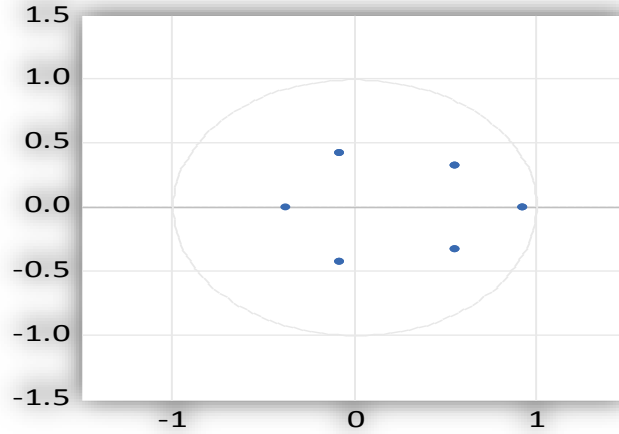
Yukarıda sunulan Tablo 4’de ADF ve PP birim kök testi Düzey (1) sonuçlarına göre çalışmada kullanılan İGE, ARGEH ve OYTEKİHR değişkenlerinin birinci fark alındığında durağan hale geldiğini göstermektedir. Hem sabitli hem de sabit ve trendli modellerde elde edilen test istatistiklerinin kritik değerleri aşması, tüm serilerin I(1) düzeyinde bütünleşik olduğunu ortaya koymaktadır. ADF ve PP testlerinin birlikte benzer sonuçlar vermesi, bulguların güvenilirliğini artırmakta ve değişkenlerin aynı bütünleşme derecesine sahip olduğunu doğrulamaktadır. Bu durum, seriler arasında uzun dönemli ilişkinin araştırılabilmesi açısından önemli bir ön koşul olup Johansen eşbütünleşme testinin uygulanmasının uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 5. VAR Gecikme Uzunluğu Seçim Kriterleri

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-212.9202	NA	1.491210	22.72844	22.87756	22.75367
1	-159.9991	83.55956*	1.492379	18.10517	18.70166	18.20612
2	-148.3436	14.72274	1.234559*	17.82564*	18.6950*	18.00230*

Tablo 5’de, modelde yer alan ige (İnsani Gelişmişlik Endeksi), argeh (Ar-Ge Harcamaları) ve oytekihr (Orta ve Yüksek Teknoloji İhracatı) değişkenleri için oluşturulan VAR (Vector Autoregression) modelinin gecikme uzunluğu seçim kriterleri gösterilmektedir. Kriterler arasında LR, FPE, AIC, SC ve HQ değerleri yer almaktadır. LR testinin birinci gecikmeyi işaret etmesine rağmen, FPE, AIC, SC ve HQ kriterlerinin tamamının ikinci gecikme (Lag = 2) düzeyinde en düşük ya da en uygun değere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle çoğunluk kuralı esas alınarak model için en uygun gecikme uzunluğu iki (2) olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu gecikme uzunluğu, değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkisini analiz etmek amacıyla Johansen eşbütünleşme testinin uygulanmasında kullanılmıştır.

Uygun gecikme uzunluğu dikkate alınarak kurulan VAR modelinin geçerliliğini ortaya koymak amacıyla istikrar koşulları incelenmiştir. Bu kapsamda, modele ait karakteristik köklerin terslerini gösteren grafik kullanılmıştır. VAR modelinin istikrarlı sayılabilmesi için söz konusu köklerin tamamının birim çember sınırları içerisinde yer alması gerekmektedir. Grafik 1’de, kurulan modelin dinamik yapısının istikrarlı olup olmadığını test etmekte ve ekonometrik analizler açısından kullanılabilirliğini göstermektedir.



Grafik 1: VAR Modeli Karakteristik Köklerinin Tersleri

Grafik 1’de VAR modeline ait karakteristik köklerin tersleri birim çember içerisinde gösterilmektedir. Modelin istikrarlı olabilmesi için tüm köklerin birim çemberin içinde yer alması gerekmektedir. Grafikte görüldüğü üzere tüm noktalar birim çember sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bu durum, kurulan VAR modelinin istikrar koşulunu sağladığını ve modelin dinamik yapısının ekonometrik analiz açısından güvenilir ve geçerli olduğunu göstermektedir. Bundan sonraki aşamadan kurulan modelin istatistiksel olarak güvenilir olup olmadığını değerlendirmek için tanısal testlere Tablo 6’da yer verilmiştir.

Tablo 6. Tanısal Sınama Test Sonuçları

Test Türü	Gecikme (Lag)	Test İstatistiği	Olasılık (p-değeri)
-----------	---------------	------------------	---------------------

Otokorelasyon LM Testi	1	7.7381	0.5607
	2	3.5284	0.9396
	3	5.7318	0.7664
White Değişen Varyans Testi (Ortak Test)		59.4957	0.8538
Normallik Testi (Jarque–Bera, Ortak)		27.8234	0.0001

Tablo 6’da sunulan tanısal sına test sonuçları, kurulan modelin geçerliliğini farklı açılardan değerlendirmeye imkân tanımaktadır. Öncelikle otokorelasyon LM testi sonuçları incelendiğinde, 1., 2. ve 3. gecikmeler için elde edilen p-değerlerinin tamamının %5 anlamlılık düzeyinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir (sırasıyla 0.5607, 0.9396 ve 0.7664). Bu durum, modelde otokorelasyon sorununun bulunmadığını ve hata terimlerinin bağımsız olduğunu göstermektedir.

White değişen varyans testi (heteroskedastisite testi) sonuçlarına bakıldığında ise p-değerinin 0.8538 olduğu görülmektedir. Bu değer %5 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için, sabit varyans varsayımının reddedilemediği anlaşılmaktadır. Başka bir ifadeyle, modelde değişen varyans sorunu bulunmamaktadır ve hata terimleri homoskedastiktir. Normallik testi (Jarque–Bera) sonuçları ise diğer testlerden farklı bir duruma işaret etmektedir. Elde edilen p-değerinin 0.0001 olması, %5 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezinin reddedildiğini göstermektedir. Bu da hata terimlerinin normal dağılım göstermediğini ifade etmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, modelde otokorelasyon ve değişen varyans sorunlarının bulunmaması olumlu bir durumdur ve modelin güvenilirliğini desteklemektedir. Ancak hata terimlerinin normal dağılması, özellikle küçük örneklerde tahmin sonuçlarının etkinliği açısından bir sınırlılık oluşturabilir. Buna rağmen, diğer temel varsayımların sağlanması modelin genel olarak ekonometrik analizler için kullanılabilir olduğunu göstermektedir. (Gujarati ve Porter, 2012 130–132; Kamath vd. 2025: 16). Böylece modelin istikrar koşulunu sağlamasının ardından değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Johansen eşbütünleşme testi uygulanmıştır.

Johansen eşbütünleşme testi iki temel istatistiğe dayanmaktadır. İz (Trace) testi, sistemdeki toplam eşbütünleşme vektörü sayısını belirlerken; maksimum özdeğer (Max-Eigenvalue) testi ardışık eşbütünleşme ilişkilerinin varlığını sınamaktadır (Johansen, 1988: 231–233; Enders, 2015: 358–360).

$H_0 : r = 0 \rightarrow$ Hiç eşbütünleşme ilişkisi yoktur.

$H_0 : r \leq 1 \rightarrow$ En fazla bir eşbütünleşme ilişkisi vardır.

$H_0 : r \leq 2 \rightarrow$ En fazla iki eşbütünleşme ilişkisi vardır

Tablo 7. Johansen Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Hipotez	Özdeğer	İz İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık	Maks-Özdeğer İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık
$r = 0$	0.5825	37.10*	29.79	0.0060	26.20*	21.13	0.0088
$r \leq 1$	0.2380	20.65	15.49	0.0076	12.70	14.26	0.0868
$r \leq 2$	0.0873	2.74	3.84	0.0048	1.94	3.84	0.0048

Tablo 7’de sunulan Johansen eşbütünleşme testi sonuçlarına göre değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkilerinin varlığını değerlendirmek açısından incelenmiştir. $r = 0$ hipotezi için hem İz (Trace) istatistiği ($37.10 > 29.79$, $p = 0.0060$) hem de Maksimum Özdeğer (Max-Eigenvalue) istatistiği ($21.60 > 21.13$, $p = 0.0429$) kritik değerlerin üzerinde bulunmuş ve bu hipotez her iki test açısından da reddedilmiştir. Bu durum, sistemde en az bir eşbütünleşme ilişkisi bulunduğunu göstermektedir.

$r \leq 1$ hipotezinde ise test sonuçları farklılık göstermektedir. İz istatistiği ($26.25 > 15.49$, $p = 0.0088$) hipotezi reddederken, Maksimum Özdeğer istatistiği ($12.70 < 14.26$, $p = 0.0868$) hipotezi reddedememektedir. Literatürde genellikle İz testi daha güçlü kabul edildiği için bu aşamada sistemde iki eşbütünleşme ilişkisi olabileceği sonucuna ulaşılabilir.

$r \leq 2$ hipotezi için ise her iki test istatistiği de kritik değerlerin altında kalmış ve p-değerleri %5’in üzerinde bulunmuştur. Bu durum, eşbütünleşme vektörü sayısının iki ile sınırlı olduğunu ve üç veya daha fazla eşbütünleşme ilişkisi bulunmadığını göstermektedir.

Genel olarak Tablo 7’nin sonuçları, değişkenler arasında uzun dönemli denge ilişkilerinin bulunduğunu ve sistemde en az bir, en fazla iki eşbütünleşme vektörünün var olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, ilerleyen aşamalarda uzun dönem dinamiklerini incelemek üzere VECM analizi için uygun bir temel oluşturmaktadır. Eşbütünleşme ilişkisinin belirlenmesinin ardından, değişkenler arasındaki uzun dönem dinamiklerini incelenerek Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Eşbütünleşme (Uzun Dönem) Denklemi

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği
ARGEH(-1)	2.221539	(0.01336)	[-16.5791]
OYTEKIHR(-1)	0.002452	(0.00041)	[-5.99293]
C	-0.472956		

Uzun dönem denklemi aşağıdaki gibidir:

$$IGE_t = 2.221539ARGEH_{t-1} + 0.002452OYTEKIHR_{t-1} - 0.472956 \quad (1)$$

Bu bulgu, Ar-Ge harcamaları (ARGEH) ile Orta ve Yüksek Teknoloji İhracatı (OYTEKIHR) değişkenlerinin uzun dönemde insani gelişme endeksi (IGE) üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, her iki değişkenin de uzun dönem dengesinde insani gelişmeyi destekleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 8 incelendiğinde, ARGEH değişkenine ait katsayının pozitif (2.221539) ve istatistiksel olarak anlamlı olması, Ar-Ge harcamalarının uzun dönem ilişkide güçlü bir belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu durum, Ar-Ge yatırımlarındaki artışların yenilik kapasitesini, bilgi üretimini ve beşeri sermayenin niteliğini artırarak insani gelişmeyi olumlu yönde etkilediğine işaret etmektedir. Benzer şekilde OYTEKIHR değişkeninin katsayısı da pozitif (0.002452) ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak katsayının büyüklüğü dikkate alındığında, bu etkinin Ar-Ge harcamalarına kıyasla daha sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.

Johansen eşbütünlük analizi ile uzun dönem ilişkisinin ortaya konulmasının ardından, değişkenler arasındaki kısa dönem dinamiklerini incelemek amacıyla hata düzeltme modeli (VECM) kurulmuştur. Hata düzeltme modeli, uzun dönem dengesinden meydana gelen sapmaların kısa dönemde nasıl giderildiğini analiz etmesi bakımından önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bu kapsamda elde edilen hata düzeltme modeli sonuçları aşağıda Tablo 9’da sunulmaktadır.

Tablo 9. Kısa Dönem Sonuçları (Hata Düzeltme Modeli) (VECM)

Bağımlı değişken	ECM (-1)	t-istatistiği	Sonuç
ΔIGE	-0.04395	-3.0155	Anlamlı
$\Delta ARGEH$	-1.54117	-2.1455	Anlamlı
$\Delta OYTEKIHR$	-3.72677	-4.5188	Anlamlı

Kısa dönem denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\Delta IGE_t = -0.04395ECM_{t-1} - 1.54117\Delta ARGEH_{t-1} - 3.72677\Delta OYTEKIHR_{t-1} + \epsilon_t \quad (2)$$

Tablo 9’da sunulan hata düzeltme modeli (VECM) sonuçları, değişkenlerin kısa dönem dinamikleri ile uzun dönem dengeye uyum süreçlerini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgulara göre tüm değişkenlere ait hata düzeltme terimi (ECT) katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Öncelikle ΔIGE değişkeni incelendiğinde, ECM (-1) katsayısının -0.04395 ve t-istatistiğinin -3.0155 olduğu görülmektedir. Katsayının negatif ve anlamlı olması, insani gelişme endeksinde meydana gelen kısa dönem sapmaların zamanla düzelerek uzun dönem dengeye geri döndüğünü göstermektedir. Ancak katsayının mutlak değerinin düşük olması, bu uyum sürecinin görece yavaş gerçekleştiğine işaret etmektedir. Buna göre, kısa dönemde oluşan dengesizliklerin yaklaşık %4’ü bir sonraki dönemde giderilmektedir.

$\Delta ARGEH$ değişkenine ait ECT katsayısı -1.54117 ve t-istatistiği -2.1455’tir. Bu değer istatistiksel olarak anlamlıdır ve katsayının negatif olması, Ar-Ge harcamalarının da uzun dönem dengeye uyum sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte katsayının mutlak değerinin 1’den büyük olması, uyum sürecinde aşırı düzeltme (overshooting) etkisinin söz konusu olabileceğini ve kısa dönem dalgalanmaların yaşanabileceğini ifade etmektedir.

$\Delta OYTEKIHR$ denkleminde hata düzeltme katsayısı -3.72677 ve t-istatistiği -4.5188 olarak bulunmuştur. Katsayının negatif ve anlamlı olması, orta ve yüksek teknoloji ihracatı değişkeninin de uzun dönem dengeye uyum sağladığını göstermektedir. Ayrıca t-istatistiğinin mutlak değer olarak yüksek olması bu uyum mekanizmasının güçlü bir şekilde işlediğine işaret etmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, tüm hata düzeltme katsayılarının negatif ve anlamlı olması değişkenler arasında uzun dönemli istikrarlı bir ilişkinin bulunduğunu ve kısa dönemde ortaya çıkan sapmaların zaman içerisinde giderilerek sistemin yeniden dengeye yöneldiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, modelin uzun dönem denge yapısının istatistiksel olarak geçerli olduğunu desteklemektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye’de dijital dönüşümün temel göstergeleri olarak ele alınan Ar-Ge harcamaları ve orta ve yüksek teknoloji ihracatının insani gelişme üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, dijital dönüşüm ile insani gelişme arasında uzun dönemli ve yapısal bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir.

Analiz sonuçları, dijitalleşme sürecinin önemli bileşenleri olan Ar-Ge faaliyetleri ve orta ve yüksek teknoloji ihracatının insani gelişmeyi destekleyen temel unsurlar olduğunu göstermektedir. Özellikle teknoloji üretim kapasitesi ve katma değeri yüksek ihracat yapısının, eğitim, sağlık ve yaşam standartları gibi insani gelişmenin temel boyutlarını olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Bu çerçevede Ar-Ge harcamalarının etkisinin, orta ve yüksek teknoloji ihracatına kıyasla daha güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Kısa dönem dinamikler, değişkenler arasındaki uyum sürecinin zaman içinde gerçekleştiğini ve başlangıçta dalgalı bir yapı sergileyebildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın sistemin uzun dönem dengeye yönelmesi, dijital dönüşüm göstergelerinin etkilerinin zamanla kalıcı hale geldiğini göstermektedir.

Elde edilen bulgular, 2025 İnsani Gelişme Raporu’nda vurgulanan “teknoloji tek başına gelişme yaratmaz” yaklaşımıyla paralellik göstermektedir. Raporda öne çıkan insan merkezli kalkınma anlayışı, dijital dönüşümün insan iradesi, beceri gelişimi ve kapsayıcı politika çerçevesinde değerlendirildiğinde insani gelişmeye katkı sağlayacağını ileri sürmektedir. Türkiye örneğinde elde edilen uzun dönemli eşbütünleşme ilişkisi, dijital yatırımların etkilerinin zaman içinde ortaya çıktığını ve sürdürülebilir kalkınma açısından uzun vadeli politikaların önemini ortaya koymaktadır.

Ayrıca bulgular literatürdeki birçok çalışma ile uyumludur. Özellikle Badri vd. (2019), Zghidi ve Trabelsi (2025) ile Xholo vd. (2025) çalışmalarında dijitalleşmenin insani gelişme üzerindeki pozitif etkileri vurgulanmış olup bu sonuçlar mevcut çalışmayı desteklemektedir. Benzer şekilde Djunaedi (2021) ve Shevchenko vd. (2023) dijital altyapı ve BIT gelişiminin beşeri sermaye ve insani gelişme üzerindeki güçlü etkilerini ortaya koymuştur. Ar-Ge harcamalarının insani gelişme üzerindeki olumlu etkisi ise Edeme (2023) ve Gür (2017) gibi çalışmalarla paralellik göstermektedir. Buna karşılık Mahfudj ve Aisyah (2025) gibi bazı çalışmalar dijitalleşmenin her koşulda pozitif sonuçlar doğurmadığını ve dijital eşitsizliklerin etkili olabileceğini belirtmektedir. Bu durum, elde edilen sonuçların ülke koşulları, dijital altyapı düzeyi ve kurumsal yapı gibi faktörlere bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir.

Çalışma genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye’de dijital dönüşümün önemli bileşenleri olan Ar-Ge faaliyetleri ile orta ve yüksek teknoloji ihracatı, insani gelişmeyi destekleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Ar-Ge yatırımlarının daha güçlü etkisi, teknoloji üretimi ve yenilik kapasitesinin artırılmasının kalkınma sürecinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Bu çerçevede, dijital dönüşüm politikalarının insan odaklı bir yaklaşımla ele alınması; eğitim sisteminde dijital becerilerin ve yapay zekâ temelli yetkinliklerin güçlendirilmesi, bölgesel ve sosyoekonomik dijital eşitsizliklerin azaltılmasına yönelik altyapı yatırımlarının artırılması, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerinin sürdürülebilir biçimde teşvik edilmesi ve dijital kamu hizmetlerinin yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, dijital yatırımların etkilerinin gecikmeli olarak ortaya çıkabileceği dikkate alınarak uzun vadeli ve istikrarlı politika çerçevelerinin oluşturulması ve iş gücü piyasasında dönüşüme uyum sağlayacak şekilde yaşam boyu öğrenme ve yeniden beceri kazandırma programlarının desteklenmesi gerekmektedir. Kısacası, dijital dönüşüm sürecinin insani gelişmeye katkı sağlayabilmesi, büyük ölçüde kapsayıcı, sürdürülebilir ve insan merkezli politikaların etkin biçimde uygulanmasına bağlıdır.

KAYNAKÇA

- Djunaedi, A. Z. (2021). Digitalization impact on growth & human capital: Indonesia broadband plan case study. *Review of Business, Accounting & Finance*, 1(3), 299-309.
- Enders, W. (2015). *Applied econometric time series* (4. baskı). https://new.mmf.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/enders_applied_econometric_time_series.pdf
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2012). *Temel ekonometri* (Ü. Şenesen & G. G. Şenesen, Çev.; 5. bs.). Literatür Yayıncılık.
- Işık, N., Acar, M., & Işık, H. B. (2004). Enflasyon ve döviz kuru ilişkisi: Bir eşbütünleşme analizi (The relationship between inflation and exchange rate: A cointegration analysis). *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 325-340.
- Ivanová, E., Žárská, V., & Masárová, J. (2021). Digitalization and human capital development. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 9(2), 402-415. [https://doi.org/10.9770/jesi.2021.9.2\(26\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2021.9.2(26))
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3).

- Kamath, A., Poojari, S. & Varsha, K. (2025). Assessing the robustness of normality tests under varying skewness and kurtosis: a practical checklist for public health researchers. *BMC Med Res Methodol.* <https://doi.org/10.1186/s12874-025-02641-y>
- <https://hdr.undp.org/data-center/specific-country-data/#/countries/USA>
- Kline, R. B. (2015). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford publications.
- Kyrychenko, M. (2019). The impact of digital technologies on the development of human and social capital in the conditions of the digitalized society. *Humanities Studies*, (1), 78-92. <https://doi.org/10.26661/hst-2019-1-78-09>
- Mahfudj, A., & Aisyah, S. (2025). The impact of digitalization on the human development index in ASEAN. *Indonesian Interdisciplinary Journal of Sharia Economics (IJSE)*, 8(3), 7615-7625.
- Marukhlenko, O.V., Panchenko, A.H., Rudenko, V. ve Oleshchenko, V. (2025). Digital transformation as a driver of human development: challenges and opportunities for Ukraine. *Global Scientific Trends: Economics and Public Administration*. 2(2). ss. 25–43. doi:10.5281/zenodo.15379282.
- Regis, A. M. S., Gomes, S. C., & Georges, M. R. R. (2024). Impact of digitalization and technological human capital on the performance of the Brazilian PYME: An empirical study. *Journal of Technology Management & Innovation*.
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., & Matos, P. (2018). Digital transformation: A literature review and guidelines for future research. *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, 411–421. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0_41
- Shevchenko, I., Zavadskykh, H., Ptashchenko, O., Zvonar, V., & Vishka, I. (2023). The application of digitization in the economy as a promising direction in the growth of human capital. *Economic Affairs*, 68(01s), 345-352. <https://doi.org/10.46852/0424-2513.1s.2023.37>
- Soyyigit, S., Eren, E., & Akis, E. (2019). Investigation of the relationship between economic complexity level and human development level: Comparison of developed and developing countries. *Journal of Management, Marketing and Logistics*, 6(3), 162-174. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2019.1129>
- Sünbül, E. (2025). Türkiye’de Toplam Para Arzı ve Nominal Faiz Oranlarının Tüketici Fiyat Enflasyonu Üzerindeki Etkileri: Johansen Eşbütünleşme Testi ve Vektör Hata Düzeltme Modeliyle Bir Değerlendirme. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 24(1), 312-336.
- United Nations Development Programme. (2010). *Human Development Report 2010: The Real Wealth of Nations - Pathways to Human Development (20th anniv)*. Palgrave Macmillan.
- United Nations Development Programme. (2020). 2020 HDR Technical Notes. http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020_technical_notes.pdf
- United Nations Development Programme (2025). *Human Development Report 2025. A matter of choice People and possibilities in the age of AI*. <https://www.undp.org/tr/turkiye/publications/insani-gelisme-raporu-2025>
- Xholo, N., Ncanywa, T., Garidzirai, R. & Asaleye, A.J. (2025). Promoting economic development through digitalization: Impacts on human development, economic complexity and gross national income. *Administrative Sciences*. 15(2). 50. <https://doi.org/10.3390/admsci15020050>.
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144.
- Yıldırım, Z. (2025). Dijitalleşmenin İnsani Gelişmeye Etkileri: OECD Ülkeleri Üzerine Ampirik Bir İnceleme. *Uşak Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*; 5(2); 251-265.
- Zghidi, N. ve Trabelsi, R. (2025). Impact of digitalization on sustainable development: a comparative analysis of developed and developing economies. *Journal of Risk and Financial Management*. 18(7). ss.359. <https://www.mdpi.com/journal/jrfm/apc>.