

**Atıf/Citation:**

Yıldız, A. (2026). AB Ülkelerinde Dijitalleşmenin Ar-Ge ve İnovasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi: Ampirik Bir Analiz. *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 27(1): 79-101.  
<https://doi.org/10.24889/ifede.1865913>.

**AB ÜLKELERİNDE DİJİTALLEŞMENİN AR-GE VE İNOVASYON KAPASİTESİ  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: AMPİRİK BİR ANALİZ**

**Ayşegül YILDIZ\***

**ÖZ**

Bu çalışma Avrupa Birliği ülkelerinde dijital performansın araştırma-geliştirme (Ar-Ge) ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisini kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi ile ortaya koymaktadır. Ülkelerin dijital performans düzeyinin değerlendirilmesinde Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) çerçevesinde yer alan bağlanabilirlik, beşeri sermaye, dijital kamu hizmetleri ve dijital teknolojinin entegrasyonu boyutları modele dahil edilmiştir. Yüksek teknoloji ihracatı, Ar-Ge harcamaları (% GSYİH) ve Ar-Ge araştırmacılarından (milyon kişi başına) oluşan üç alt boyut ise, çalışmaya konu olan ülkelerin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini belirlemek için kullanılan göstergelerdir. 2022 yılına ait verilerin ele alındığı modelin analizinde SmartPLS 4 yazılımı aracılığıyla geçerlilik, güvenilirlik ve yol katsayılarına ilişkin testler uygulanmıştır. Ampirik bulgular, dijital performansın AB ülkelerinde Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönde etkilediğini göstermektedir ( $\beta=0,626$   $t=6,088$   $p<0,01$ ). Çalışmada, dijital becerilerle donatılmış bir işgücünün oluşturulması, dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaştırılması, bağlantı alt yapısının güçlendirilmesi ve kamu hizmetlerinde dijitalleşmenin teşvik edilmesi alanlarında gözlemlenen iyileşmelerin ülkelerin dijital performanslarındaki gelişmeyle birlikte Ar-Ge ve inovasyon kapasitelerini artırmada politika yapıcılar açısından stratejik bir rol oynadığı ortaya konulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** *Dijitalleşme, Ar-Ge ve İnovasyon, PLS-SEM*  
**JEL Sınıflandırılması:** *O30, C38*

**THE IMPACT OF DIGITALIZATION ON R&D AND INNOVATION CAPACITY IN EU  
COUNTRIES: AN EMPIRICAL ANALYSIS**

**ABSTRACT**

This study reveals the impact of digital performance on research and development (R&D) and innovation capacity in European Union countries using partial least squares structural equation modeling. To assess the digital performance level of countries, the connectivity, human capital, digital public services, and integration of digital technology dimensions included in the Digital Economy and Society Index (DESI) framework have been incorporated into the model. The three sub-dimensions consisting of high-technology exports, research and development expenditure (% of GDP), and researchers in R&D (per million people)-are indicators used to determine the R&D and innovation capacity of the countries studied. In the analysis of the model, in which 2022 data were employed, tests on validity, reliability, and path coefficients were carried out through SmartPLS 4 software. The empirical findings show that the digital performance affects the R&D and innovation capacity in EU countries statistically significantly and positively ( $\beta=0.626$ ,  $t=6.088$ ,  $p<0.01$ ). The study reveals that improvements observed in areas such as creating a digitally skilled workforce, expanding the use of digital technologies, strengthening connectivity infrastructure, and encouraging digitalization in public services play a strategic role for policymakers in increasing countries' R&D and innovation capacities, along with improving their digital performance.

**Keywords:** *Digitalization, R&D and Innovation, PLS-SEM*  
**JEL Classification:** *O30, C38*

**1. GİRİŞ**

Dijital dönüşüm, toplumsal yaşamın kalitesini iyileştirme potansiyeline sahip stratejik bir değişimdir. Temel bir teknolojik yenilikten daha fazlası olan ve küresel ekonominin, toplumun

\* Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Kütahya, Türkiye. E-posta: aysegul.yildiz@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8036-9910

ve bireysel yaşamın gelişimini hedefleyen dijital dönüşüm alanında başarıyı yakalayabilmek için bu değişime yol açacak ürün ve hizmetlerin etkin bir şekilde geliştirilmesi, yaygınlaştırılması ve uygulanması gerekmektedir (Kim vd., 2021). Hızla dönüşen dijital ekonomi süreçlerinde daha etkili bir şekilde rekabet edebilmek için teknolojiye, iş modellerine ve süreçlere yönelik yeniden yapılanmanın gerçekleştirilmesi veya yeni yatırımlar yapılması gerekmektedir (Solis, 2017). Bölgeler ve ülkeler açısından ekonomik kalkınmanın kilit unsurları olarak görülen teknoloji ve inovasyon bakımından en dinamik ve rekabetçi çağ olarak kabul edilen mevcut küresel düzende, özellikle gelişmiş ülkeler rekabet avantajı elde edebilmek ve bu alanlardaki kapasitelerini modernize etmek için her zamankinden daha yoğun çaba göstermektedir (Hussain vd., 2022). Bu doğrultuda Avrupa Birliği ülkeleri dijitalleşme, teknoloji ve inovasyonda meydana gelen gelişmelerden kaynaklanan küresel ölçekli dönüşüm sürecinde rekabet gücünü korumak için yeni ekonomik koşullara uyum sürecini hızlandırmaktadır. AB'nin dijital dönüşüm ve inovasyon eylem planı, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi, ülkeler arasındaki eşitsizlikleri azaltmayı ve vatandaşların yaşam koşullarını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu çerçevede, artan dijitalleşme ve Ar-Ge yatırımları, Avrupa ekonomilerinin yeniden yapılandırılmasını, yeni büyüme ve verimlilik kaynaklarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Fortea vd., 2024).

Günümüzde dijital dönüşüm, inovasyonu destekleyen ve kolaylaştıran temel bir unsur haline gelmiştir (Urbinati vd., 2020). Bilgiye erişim maliyetini düşürerek firmaların, bireylerin ve kamu kurumlarının ekonomik ve sosyal işlemleri çok daha düşük maliyetlerle gerçekleştirmesini sağlayan dijital teknolojiler, işlem maliyetlerini neredeyse sıfıra indirmesi yönüyle inovasyonu önemli ölçüde teşvik etmektedir (World Bank Group, 2016). Yeni girişimlerin başlatılması, ölçeklendirilmesi ve geliştirilmesinde rol oynayan yeni inovasyon türleri, dijital teknolojiler aracılığıyla desteklenmektedir. Ayrıca, bölgesel girişimcilik faaliyetini ve inovasyonu kolaylaştıran bu teknolojiler, toplumun her kesimine yayılan sosyal ve ekonomik kazanımların elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Nambisan vd., 2019). Öte yandan dijitalleşmeye kaynak ayıran tüm ülkeler eşit düzeyde inovatif bir yapı sergileyememektedir. Bazı ülkeler dijitalleşmeyi inovasyon odaklı bir girişime dönüştürebilirken, diğerleri sadece dijital tüketici olmanın ötesine geçememektedir. Bu durum, dijital yatırımlarda etkinliğin ancak tamamlayıcı reformlar yoluyla sağlanabileceğini belirten Dünya Kalkınma Raporu: Dijital Temettüler raporu ile paralellik göstermektedir (World Bank Group, 2016). Rapor, genişletilmiş ekonomik reformlar yoluyla teknoloji yatırımlarını teşvik eden ülkelerin daha fazla iş, daha hızlı büyüme ve iyileştirilmiş hizmetler şeklinde dijital kazanımlar, ekonomik ve toplumsal avantajlar elde edebileceğini vurgulamaktadır. Tüm bu hususlar dikkate alındığında, dijital teknolojiler inovasyonu mümkün kılan temel altyapıyı ve ivmeyi kazandırdığından, dijitalleşme olmadan inovasyon düşünülemez. Bu bağlamda, dijitalleşmeyi inovasyon stratejilerine entegre eden ülkeler, ekonomik istikrarlarını artırabilir, sürdürülebilir kalkınmayı sağlayabilir ve küresel ortamda rekabet güçlerini koruyabilirler.

Bu çalışma, Avrupa Birliği ülkelerinde dijital performans düzeyinin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisini çok değişkenli istatistiksel tekniklerden biri olan PLS-SEM yöntemi ile incelemektedir. Çalışmada, dijital performans düzeyi Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi'nin (DESI) boyutları ile ele alınmıştır. 2022 yılına ait verilerin kullanıldığı analizde örneklem grubu olarak 27 AB ülkesinin seçilmesinin nedeni, dijital dönüşüm süreçlerinin izlenebilirliği açısından gelişmiş veri altyapısına sahip olmaları ve DESI'nin oluşturulmasında temel alınan ülke grubunu temsil etmeleridir. Buna ek olarak AB ülkeleri, inovasyon politikalarını doğrudan dijitalleşme

stratejilerine bağlayan yapısal reformlar uygulamaktadır (European Commission, 2025a). Dolayısıyla, dijital performans düzeyi ve Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesi açısından AB ülkeleri uygun bir örneklem sunmaktadır. Öte yandan, beşeri sermaye ve dijital altyapı gibi alt bileşenlerin etkileri literatürde çoğunlukla ayrı ayrı ele alınırken, bu çalışma, kapsamlı ve bütünsel bir gösterge olan DESI'nin alt boyutları ile ölçülen dijital performansın ülkelerin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemesi yönüyle mevcut literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Bulgular, ülkelerin dijital performanslarının sadece teknolojik bir gelişme değil, aynı zamanda ülkelerin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini şekillendiren kritik bir yapı taşı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle dijitalleşme politikalarının Ar-Ge ve inovasyon hedefleriyle eş zamanlı olarak ele alınması gerektiği belirlenmiştir.

Beş bölümden oluşan çalışmanın bir sonraki bölümünde, dijital performansın Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkilerini ortaya koyan ayrıntılı bir literatür taraması yer almaktadır. Üçüncü bölüm, PLS-SEM tahmin yöntemi hakkında bilgi vermekte ve çalışmada kullanılan veri setini açıklamaktadır. Dördüncü bölüm ampirik bulguları, beşinci bölüm ise sonuçları içermektedir.

## 2.LİTERATÜR

### 2.1. Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI)

Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI), AB ülkelerinin dijital rekabet gücünü ve genel dijital performansını değerlendirmek için geliştirilmiş çok boyutlu bir endekstir. Avrupa Komisyonu tarafından 2014 yılından bu yana üye devletlerin dijital gelişiminin takip edilmesi amacıyla yıllık olarak yayımlanan bu endeks, ülkelerin sosyal ve ekonomik dijitalleşme süreçlerinde yatırım gerektiren alanları belirlemeyi hedeflemektedir. Yaklaşık 30 ayrı göstergeden türetilen DESI'nin dört temel boyutu vardır: Bağlanabilirlik, beşeri sermaye, dijital teknolojinin entegrasyonu ve dijital kamu hizmetleri (Başol vd., 2023; DESI, 2022). DESI (2022) raporunda yer alan bu alt boyutlara ilişkin açıklamalar aşağıda sunulmuştur:

Bağlanabilirlik alt boyutu, bir ülkenin internete erişim seviyesinin değerlendirilmesini temsil eder. Mobil ve sabit geniş bant hizmetlerinin kullanım düzeyini ve erişilebilirliğini ortaya koymaktadır. Sabit geniş bant için, yüksek hızlı bağlantıların (100 Mbps ve üzeri) kullanımı, yeni nesil erişim ağlarının ve çok yüksek kapasiteli ağların kapsama alanı üzerinde durulmaktadır. Mobil geniş bant için 5G spektrum tahsisleri, 5G kapsama alanı ve kullanım seviyeleri değerlendirilmektedir. Ayrıca, sabit ve mobil hizmetler için fiyatlandırma planları ve birleşik paketlerin perakende fiyatları da bu boyutta ele alınmaktadır, çünkü bağlantı AB'de sosyal bir hak olarak kabul edilmektedir.

Beşeri sermaye alt boyutu hem vatandaşların internet kullanıcı yetkinliklerini hem de uzmanların ileri düzey dijital becerilerini değerlendirmektedir. Kamu kurumları ve özel şirketler, çalışanlarının çoğunun bu becerilere sahip olmasını beklemektedir. İnternete ve dijital teknolojiye bağımlılık arttıkça, iş gücünün de gelişen beceri talebine ayak uydurması gerekmektedir. Dijital yetkinliklere hakim olmadan, inovasyonu ilerletmenin ve rekabetçi kalmanın mümkün olduğu söylenemez. Aynı durum, profesyonel veya kişisel bağlamda dijital becerilere ihtiyaç duyacak olan toplum için de geçerlidir. Bu bağlamda, dijital geçiş AB ve üye devletler için bir önceliktir.

Dijital teknolojinin entegrasyonu alt boyutu, işletmelerin dijitalleşme ve e-ticaret faaliyetlerinin düzeyini ortaya koymaktadır. Bu kavram sosyal medya kullanımı, elektronik bilgi paylaşımı, büyük veri, yapay zeka ve bulut bilişim gibi teknolojilerin benimsenme oranının yanı

sıra KOBİ'lerin ulusal ve sınır ötesi e-ticaret performansını incelemektedir. Dijital teknolojiler işletmelere rekabet avantajı sağlamak ve ürün, hizmet ve pazar gelişimine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.

Dijital kamu hizmetleri alt boyutu, açık veri ve dijital kamu hizmetlerinin hem arz hem de talep yönlerini kapsamaktadır. Amaç, bireylerin ve işletmelerin dijital kamu hizmetlerine erişimini ve kullanımını teşvik etmektir. Dijital teknolojiler, kamu sektörüne yönelik artan beklentiler ve talepler getirmekle birlikte bunların etkin kullanımı kamu kurumları için kayda değer ölçüde güçlük yaratmaktadır. Dolayısıyla etkin bir e-devlet sisteminin varlığı, kamuya ve işletmelere verimlilik, maliyet tasarrufu, şeffaflık ve açıklık da dahil olmak üzere çok sayıda fayda sağlamaktadır.

Dijital ekonominin gelişimini ve ülkeler arasındaki dijital dönüşüm farklılıklarını analiz etmek amacıyla DESI gibi bileşik göstergelerin son yıllarda literatürde yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir (Li vd., 2020). Özkan ve Atan (2023) dijital rekabet edilebilirliği ölçen indekslerden biri olan DESI'nin bileşenlerini çok kriterli karar verme yöntemleri ile yeniden değerlendirerek endeksin, ülkelerin dijital performanslarını karşılaştırmalı olarak belirlemede önemli bir araç olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, DESI'nin bütüncül bir dijital performans göstergesi olarak ele alınabileceğini ortaya koyması açısından mevcut çalışmanın teorik çerçevesini desteklemektedir. Ayrıca dijital ekonominin sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen bileşenlerden biri olduğunu vurgulayan Topçu (2021) ve Taş vd. (2021), dijital ekonomi göstergeleri ile sürdürülebilir kalkınma arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Taş vd. (2021) Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Endeksi'ne ait 17 hedefi faktör analizine tabi tutarak 4 faktöre indirgemiş ve DESI ile aralarındaki ilişkiyi regresyon analizi aracılığıyla ele almıştır. Çalışmada inovatif endüstri ve toplumsal kalkınma faktörüne ait hedeflerin %74,7'sinin işletmelerin dijital teknoloji entegrasyonu değişkeni tarafından açıklandığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde AB'nin dijital performansının sürdürülebilir kalkınmanın temel bileşenleri (ekonomik, sosyal ve çevresel) üzerindeki etkisini inceleyen Jovanovic vd. (2018) de, DESI ile sürdürülebilirlik bileşenlerini ölçen diğer bileşik endeksler arasındaki korelasyonları ortaya koymaktadır. Sonuçlar daha yüksek dijitalleşme düzeyinin daha yüksek rekabet gücü, inovasyon ve girişimcilik faaliyetleri ile ilişkili olduğunu ifade etmektedir. Rındaşu vd. (2023) 27 AB ülkesinin DESI'ye ait göstergeleri ile ölçtüğü dijital performans düzeyi ve Küresel İnovasyon Endeksi göstergeleri ile ortaya koyduğu inovasyon çıktısı arasında istatistiksel olarak anlamlı ve orta düzeyde bir ilişki olduğunu kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi ile analiz etmiştir. Çalışmada, bu sonucun AB'nin 2030 gündemini hayata geçirme hedefi doğrultusunda politika yapıcılar tarafından sürdürülebilir sanayileşme ve inovasyonu teşvik etme ile ilgili hedeflere ulaşmak için kullanılabileceği, bu nedenle, şirketlerin rekabetçi kalmak ve inovasyon yaratımını kolaylaştırmak için teknolojik gelişmelerden yararlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Öte yandan literatürde DESI göstergelerinin farklı sosyo-ekonomik çıktılar üzerindeki etkilerini ele alan araştırmalar da yer almaktadır. Başol ve Yalçın (2024), DESI göstergelerini kullanarak Avrupa Birliği ülkelerinde dijitalleşme ile yaşam kalitesi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi'nin Yaşam Kalitesi Endeksi üzerinde pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, DESI'nin farklı sosyo-ekonomik çıktılarla ilişkilendirilerek analiz edilebileceğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

## 2.2. Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge), İnovasyon ve Dijitalleşme

Ar-Ge ve inovasyon, bir ülkenin kalkınma düzeyini belirlemenin ötesinde, küresel rekabet avantajı elde etmesi ve küresel ekonomideki konumunu güçlendirmesinde önemi giderek artan faktörler haline gelmiştir. Teknolojik ilerlemeyi teşvik eden Ar-Ge ve inovasyon, sürdürülebilir ve istikrarlı ekonomik büyümeye katkıda bulunan temel unsurlar arasında yer almaktadır (Akinwale vd., 2012). Dolayısıyla, sosyal zenginliğin yaratılması büyük ölçüde bilim, teknoloji ve inovasyona bağlıdır. Bu zenginlik, ancak yeni teknolojilerin ekonomik üretime entegrasyonu yoluyla ortaya çıkabilir ve topluma aktarılabilir (Nigam, 1986).

Çalışmada ele alınan Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi (RDIC) değişkeni, literatürde çok boyutlu bir kavram olarak ele alınmakta olup, bu kapasitenin oluşumu farklı yapısal ve ekonomik faktörlerin etkileşimiyle açıklanmaktadır. Bu bağlamda, RDIC'in farklı boyutlarını yansıtan temel göstergelerden biri olan yüksek teknoloji ürünleri ihracatı; havacılık, uzay, bilgisayar, ilaç, bilimsel ekipman ve elektrikli makineler gibi araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yoğun olduğu sektörlerde üretilen ürünleri ifade etmektedir (Buchinskaya ve Dyatel, 2019). Tebaldi (2011), yüksek teknoloji ticaretinin bir ülkenin genel rekabet gücünü ve küresel teknoloji pazarındaki konumunu ortaya koyduğunu belirtmektedir. Ayrıca, Falk (2009)'a göre, daha yüksek katma değer sunan teknolojik ürünlerin ihracatı da bir ülkenin dış ticaret başarısını desteklemektedir. Özsoy vd. (2022), dijitalleşme ve bilgi ve iletişim teknolojilerinin yüksek katma değerli teknolojik ürünlerin gelişiminde önemli bir rol oynadığını vurgulamıştır. 2007-2017 verilerini kullanarak sistem GMM yöntemiyle dijitalleşmenin yüksek teknoloji ürünlerinin ihracatı üzerinde anlamlı etkisinin tespit edildiği çalışmada elde edilen bulgular, yüksek teknoloji ürünleri ihracatını artırmak isteyen gelişmekte olan ülkelerin bilgi ve iletişim teknolojilerine daha fazla yatırım yapması gerektiğine dair kanıtlar sunmaktadır.

Ar-Ge ve inovasyon süreçleri, sosyal refahın iyileştirilmesi, sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanması ve ekonomilerin uzun vadeli rekabet avantajının korunması için kritik bir öneme sahiptir (Sochul'áková, 2020). Dünya Bankası'na (2025) göre, Ar-Ge harcamaları (% GSYİH) göstergesi, bir ülkenin toplam Ar-Ge harcamalarının gayri safi yurtiçi hasılasındaki payını ifade etmektedir. Bu oran, bir ülkenin bilgi ekonomisine yaptığı yatırım düzeyini ve inovasyon kapasitesini yansıtan önemli bir göstergedir. Ar-Ge harcamalarının inovasyon performansını belirleyen temel faktörlerden biri olarak kabul edildiğini vurgulayan Pu (2025), Çin'de yer alan şirketler için 2012-2021 verilerini kullanarak dijital dönüşüm ile kurumsal Ar-Ge harcamaları arasında pozitif yönlü bir ilişki tespit etmiştir. Dijital dönüşüm, şirketlerin bilgi yönetimi, kaynak kullanımı ve stratejik karar alma süreçlerini yeniden yapılandığından Ar-Ge kapasitesinin geliştirilmesinde etkili bir bileşen olarak değerlendirilmektedir. Dijital dönüşümün Ar-Ge harcamalarını önemli ölçüde artırdığını ortaya koyan bu çalışma, Çin firmaları ile sınırlı olsa da, bulgular dijital dönüşümün hızla ilerlediği diğer gelişmekte olan ülkeler için de geçerlilik gösterebilir. Ayrıca çalışma, dijital dönüşümün Ar-Ge yatırımlarını inovasyona dönüştürme üzerindeki etkisinin, ekonomik dayanıklılık ve büyümenin kritik olduğu gelişmekte olan ülkeler için özellikle önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Dijital dönüşüm, dijital becerileri modern yaşam ve iş gücü için temel bir gereklilik haline getirmiştir. Dijital teknolojilerin artan kullanımı ise toplumun ve iş dünyasının bu becerilere uyum sağlamasını gerektirmektedir. İnovasyonun sürekliliğini sağlamak ve rekabet gücünü korumak dijital becerilerin yaygınlığına bağlı olduğundan bu alandaki yetkinlik düzeyi AB ve üye devletleri için stratejik bir öncelik olarak kabul edilmektedir (DESI, 2022). Bu noktada,

dijitalleşme düzeyi arttıkça büyük veri, yapay zeka, veri analitiği ve bulut bilişim gibi alanlarda yetkinliğe sahip Ar-Ge araştırmacılarına olan talebin de artması beklenmektedir. Nitekim, Singh ve Jyoti (2023) çalışmalarında, Bilgi ve İletişim Teknolojileri Dijitalleşme Endeksi ile Ar-Ge araştırmacıları (milyon kişi başına) arasındaki korelasyon katsayısının pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, dijitalleşmenin Ar-Ge araştırmacıları için teşvik edici bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Oslo El Kitabı'nda (2005) inovasyon işyeri organizasyonunda, iş süreçlerinde veya dış ilişkilerde yeni veya önemli ölçüde geliştirilmiş bir ürün veya süreç, organizasyonel yöntem veya yeni bir pazarlama stratejisinin uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Duarte ve Oliveira Carvalho (2024), dijital dönüşümün inovasyon dinamiklerini yalnızca firmalar için değil, ulusal düzeyde de köklü biçimde değiştirdiğini belirtmiştir. Çalışmalarında, 27 AB ülkesinin ulusal inovasyon altyapısında dijital dönüşümün rolünü ortaya koymuş ve yüksek inovasyon çıktısı seviyelerine ulaşmada kilit bir unsur olduğunu göstermişlerdir. Bu bağlamda, inovasyon performansını iyileştirmeyi amaçlayan politika yapıcılar, güçlü bir ulusal inovasyon altyapısının önemini göz önünde bulundurmalı ve işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerini desteklemelidir. Ayrıca çalışma, büyük veri ve üretken yapay zeka gibi yeni dijital teknolojilerin hızla benimsenmesi karşısında beşeri sermaye ve araştırma faaliyetlerinin geride kalma riski göz önüne alındığında, AB üyesi devletlerde dijital becerilerin geliştirilmesini desteklemek için politika önerilerine duyulan ihtiyacı vurgulamıştır. Dolayısıyla, dijitalleşme, Ar-Ge ve inovasyonu teşvik etmede etkili bir stratejik unsur olarak değerlendirilebilir. Bu çerçevede, literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda aşağıdaki hipotez öne sürülmektedir.

**H<sub>1</sub>:** AB ülkelerinde dijital performans düzeyi, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahiptir.

### 3.YÖNTEM VE VERİ SETİ

#### 3.1. Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM)

Yapısal eşitlik modellemesi, bilimsel araştırmalarda ortaya atılan hipotezlerin doğrulanması sürecinde kullanılan kapsamlı bir analiz yöntemidir ve teorik temellere dayanarak gözlenen/gözlenemeyen (gizil) değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkilerini test etmeyi amaçlar (Hoyle, 1995). Kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesinin (Partial Least Squares Structural Equation Modeling-PLS-SEM) temelleri İsveçli istatistikçi Herman Wold (1975) tarafından ortaya atılmıştır. Bu model, Jöreskog (1973) tarafından geliştirilen kovaryans tabanlı yapısal eşitlik modellemesinin (CB-SEM) birçok araştırmacının normal dağılım varsayımları ve büyük örneklem gereksinimleri gibi katı koşullarını karşılamakta zorlanması nedeniyle, CB-SEM'e alternatif bir yöntem olarak ileri sürülmüştür (Astrachan vd., 2014; Hair vd., 2019). PLS-SEM, küçük örneklem boyutlarında kullanılabilmesi ve veri setinin dağılımı hakkında herhangi bir varsayım gerektirmemesi nedeniyle esnek bir modelleme aracı olarak kabul edilmektedir (Awang vd., 2015; Lohmöller, 1989). Yöntem, temel bileşenler analizi ve regresyon analizini birleştirerek modeldeki nedensel ilişkileri ortaya çıkarmak ve gizil değişkenleri tahmin etmek için yinelemeli bir tahmin sürecine dayanmaktadır (Edvardsson, 2000).

PLS-SEM süreci ölçüm modelinin değerlendirilmesi ve yapısal modelin analizi olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır (Hair vd., 2017). Yakınsak geçerlilik, içsel tutarlılık ve ayırt edici geçerlilik ölçüm modelinin değerlendirilmesinin temelini oluştururken, yol katsayılarının

büyükliği ve anlamlılık düzeyi ise yapısal modelin analizinde değerlendirilir. Gözlemlenen değişkenler arasındaki korelasyon katsayısına dayalı olarak hesaplanan Cronbach's alpha katsayısı, modelin içsel tutarlılığını ölçmek için literatürde yaygın olarak kullanılsa da, bu kriter değişken sayısına duyarlıdır ve bu nedenle bileşik güvenilirliğin kullanılması gereklidir. Bu katsayının 0,70'ten düşük ve 0,95'ten yüksek olmaması beklenmektedir. Dış yükleri (outer loadings) dikkate alınarak hesaplanan açıklanan ortalama varyans (AVE), yakınsak geçerliliği değerlendirmek için kullanılır (Hair vd., 2014). AVE değerleri, gizil değişkenin gözlemlenen değişkenlerdeki değişimi ne ölçüde açıkladığını ifade etmektedir. Geçerli bir modelde, AVE değeri 0,50'nin üzerinde ve çapraz yüklerden daha yüksek olmalıdır (Chin, 1998; Hock ve Ringle, 2006). Bu, her faktörün göstergelerinin varyansının en az yarısını açıkladığı anlamına gelmektedir.  $AVE < 0,50$  ise, açıklanan varyansın hata varyansından daha az olduğu ve ölçüm geçerliliğinin düşük olduğu şeklinde değerlendirilmektedir (Rouf ve Akhtaruddin, 2018). Modeldeki her bir yapının ayırt edici geçerliliğini sağlamak için AVE'nin karekökü, diğer yapılarla olan korelasyonlarından daha yüksek olmalıdır (Fornell ve Larcker, 1981).

Kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesinin uygulanmasında literatürde sıklıkla kullanılan SmartPLS yazılımı Ringle, Wende ve Will (2005) tarafından geliştirilmiştir (Wong, 2013). SmartPLS teorik temel oluşturulduktan sonra, karmaşık modellerdeki gizli değişkenlerin tahminine ve nedensel analizine olanak tanır (Barroso vd., 2010). Literatürde SmartPLS analizleri için önerilen örneklem büyüklüğünün genellikle 30 ile 100 arasında olduğu bildirilmektedir (Chin ve Newsted, 1999; Şahinoğlu ve Yakut, 2019). Bununla birlikte, bazı çalışmalar 20 ile 30 arasındaki örneklem büyüklüklerinin de yeterli olabileceğini öne sürmektedir (Başol ve Yalçın, 202; Kock ve Hadaya, 2018). Bu çalışmada, PLS-SEM yaklaşımını destekleyen SmartPLS yazılımı, geçerlilik ilkelerine uygun olarak tasarlanmış bir metodoloji ile AB ülkelerinin dijital performans düzeyi ve Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi göstergeleri arasındaki ilişkiyi modellemede yenilikçi bir araç olarak kullanılmıştır.

### 3.2. Veri Seti

Bu çalışmada, Avrupa Birliği ülkelerinin dijital performans düzeyi ile Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi arasındaki ilişki PLS-SEM yöntemi ile incelenmiştir. Dijital performans düzeyinin belirlenmesinde Dijital Ekonomi ve Toplum Endeksi (DESI) kapsamında yer alan bağlanabilirlik, beşeri sermaye, dijital kamu hizmetleri ve dijital teknolojinin entegrasyonu boyutları modele dahil edilmiştir. Analizde 27 AB ülkesinin tamamı için hesaplanan DESI endeksi için 2022 yılına ait en güncel veriler kullanılmış ve Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanan resmi raporlardan elde edilmiştir (European Commission, 2025b). Kuramsal çerçeve kapsamında, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin göstergeleri olarak yüksek teknoloji ihracatı (cari \$), araştırma ve geliştirme harcamaları (% GSYİH) ve Ar-Ge araştırmacı sayısı (milyon kişi başına) değişkenleri kullanılmıştır. Çalışmada yer alan ülkeler; Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, Estonya, Yunanistan, İspanya, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovenya, Slovakya ve İsveç'tir. Çalışmada kullanılan faktörler, bu faktörlerin göstergeleri, tanımları ve elde edildikleri veri tabanları Tablo 1'de listelenmiştir.

**Tablo 1: Analizde Kullanılan Faktörler ve Göstergeler: Tanımlar ve Kaynaklar**

Faktör	Gösterge	Tanım	Kaynak
Dijital Performans (DP)	Bağlanabilirlik (CO)	CO, beş alt göstergenin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır: Mobil geniş bant (%40), sabit geniş bant kapsama alanı (%25), sabit geniş bant kullanım oranı (%25) ve geniş bant fiyatları (%10).	Avrupa Komisyonu
	Beşeri Sermaye (HC)	HC, iki alt göstergenin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır: İleri düzey beceriler ve gelişim (%50) ve internet kullanıcı becerileri (%50).	Avrupa Komisyonu
	Dijital Teknolojinin Entegrasyonu (IDT)	IDT, üç alt göstergenin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır: İşletmeler için dijital teknolojiler (%70), dijital yoğunluk (%15) ve e-ticaret (%15).	Avrupa Komisyonu
	Dijital Kamu Hizmetleri (DPS)	DPS, e-devlet (%100) alt göstergesine göre hesaplanır.	Avrupa Komisyonu
Ar-Ge ve İnovasyon Kapasitesi (RDIC)	Yüksek Teknoloji İhracatı (cari \$), (HTE)	Bir ülkenin, Ar-Ge yoğunluğu gerektiren yüksek teknoloji ürünlerinin (bilimsel cihazlar, havacılık ve uzay, bilgisayarlar, elektrikli makineler ve ilaçlar gibi) belirli bir yıldaki cari ABD doları cinsinden toplam ihracat değeridir.	Dünya Bankası
	Ar-Ge Harcamaları (% GSYİH) (RDE)	Bir ülkenin Ar-Ge faaliyetlerine ayırdığı toplam harcamaların gayri safi yurtiçi hasıla içindeki payıdır.	Dünya Bankası
	Ar-Ge Araştırmacı Sayısı (milyon kişi başına) (RRD)	Ülkede Ar-Ge alanında çalışan milyon kişi başına düşen araştırmacı sayısıdır.	Dünya Bankası

**Kaynak:** <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>;

<https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicators>

Her ülke için hesaplanan DESI skoru, Avrupa Komisyonu tarafından belirlenen metodolojik çerçeve doğrultusunda oluşturulan bileşik bir göstergedir. Bu nedenle çalışmada endeksin alt boyutları, söz konusu metodolojik yapıya bağlı kalınarak önceden belirlenmiş

ağırlıklara sahip dört temel göstergenin basit ağırlıklı aritmetik ortalaması şeklinde ele alınmıştır (DESI, 2022).

$$DESI = HC*0.25 + CO*0.25 + IDT*0.25 + DPS*0.25$$

Analizde kullanılan göstergelerin ortalama, standart sapma, medyan, minimum ve maksimum değerlerini ifade eden tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de sunulmuştur. Standart sapma, verilerin aritmetik ortalamaya göre dağılım ölçüsü hakkında bilgi verirken, minimum ve maksimum değerler değişkenlerin en düşük ve en yüksek değerlerini temsil eder.

**Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistikler**

Faktör	Gösterge	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Minimum	Maksimum
DP	CO	56,47804	8,612868	56,46546	39,82679	77,08926
	HC	48,45299	10,02809	45,9408	30,91768	71,39063
	IDT	36,97893	11,72641	36,73003	15,15259	59,08657
	DPS	68,20455	16,66654	67,90744	21,04331	91,17916
RDIC	HTE	3,31e+10	5,27e+10	8,53e+09	9,40e+07	2,44e+11
	RDE	1,736846	0,9160346	1,45383	0,45881	3,40822
	RRD	4695,369	2052,447	4725,15	998,7255	8735,601

Tablo 2’de yer alan tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, 27 AB ülkesi için bağlanabilirlik göstergesinin ortalama değeri 56,47 olarak tespit edilmiştir. Bu göstergenin en yüksek değeri olan 77,08, Danimarka’da gözlemlenmiştir. Beşeri sermaye, dijital teknolojinin entegrasyonu ve dijital kamu hizmetleri göstergelerinin ortalama değerleri sırasıyla 48,45, 36,97 ve 68,20 olarak hesaplanmıştır. Beşeri sermaye ve dijital teknolojinin entegrasyonu göstergelerinin en yüksek değerleri Finlandiya’da, dijital kamu hizmetleri göstergesinin en yüksek değeri ise Estonya’da gözlemlenmiştir. 2022 verileri için yüksek teknoloji ihracatının ortalaması 3,31e+10 iken, Ar-Ge harcamalarının (% GSYİH) ortalaması 1,73’tür. Söz konusu ülke grubu için Ar-Ge araştırmacılarının (milyon kişi başına) ortalaması 4695,36 olarak tespit edilmiştir. Yüksek teknoloji ihracatı, Ar-Ge harcamaları (% GSYİH) ve Ar-Ge araştırmacıları (milyon kişi başına) göstergelerinin en yüksek değerleri sırasıyla Almanya, İsveç ve Danimarka’da ortaya çıkmıştır.

#### 4.AMPİRİK BULGULAR

PLS-SEM sonuçlarına göre, Tablo 3’te listelenen değerlendirme kriterleri, ölçüm modelinin ve yapısal modelin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. İç tutarlılık güvenilirliği için bileşik güvenilirlik ve Cronbach’s alpha değerleri dikkate alınırken, gösterge güvenilirliğinde dış yük değerleri esas alınır. Yakınsak geçerlilik için AVE değeri, ayırt edici geçerlilik için HTMT değeri ve Fornell-Lacker kriteri incelenmektedir. Yapısal modeli değerlendirmede ise çoklu doğrusallık (VIF), etki büyüklüğü (f<sup>2</sup>), belirleme katsayısı (R<sup>2</sup>), yol katsayıları ve tahmin gücü (Q<sup>2</sup>) göz önünde bulundurulur (Hair vd., 2017).

**Tablo 3: PLS-SEM Model Değerlendirme Kriterleri**

Değerlendirme	Kriterler ve Referans Aralıkları	Kaynak
Güvenilirlik	Dış Yükler > 0,60	Hulland (1999)
	Bileşik Güvenilirlik > 0,70	Hulland (1999)
	Cronbach's Alpha ( $\alpha$ )	Hair vd. (2013)
	$\alpha > 0,80$ Yüksek Güvenilirlik $\alpha > 0,70$ Kabul Edilebilir Güvenilirlik	
Geçerlilik	Açıklanan Ortalama Varyans (AVE) > 0,50	Bagozzi ve Yi (1988)
	$\sqrt{AVE} >$ Korelasyonlar	Fornell ve Larcker (1981)
	Heterotrait Monotrait Oranı (HTMT) < 0,90	Hair vd. (2016)
Çoklu doğrusallık	Varyans Şişirme Faktörü (VIF) < 5	Hair vd. (2011)
Etki Büyüklüğü	$0,02 < f^2$ zayıf; $0,15 < f^2$ orta; $0,35 < f^2$ güçlü	Cohen (1988)
Belirleme Katsayısı	$0,19 < R^2$ zayıf; $0,33 < R^2$ orta; $0,67 < R^2$ güçlü	Chin (1998)
Yol Katsayısı	$t > 2,33$ $p < 0,05$	Hair vd. (2017)
Tahmin Gücü	$0,25 > Q^2$ zayıf; $0,25 < Q^2 < 0,50$ orta; $0,50 < Q^2$ güçlü	Geisser (1974); Stone (1974)

Çalışmada kullanılan faktörler, bu faktörlere ait göstergeler ve dış yükleri, açıklanan ortalama varyans (AVE), bileşik güvenilirlik (CR) ve Cronbach's alpha değerleri Tablo 4'te sunulmuştur. Smart PLS 4.0 paket programı ile elde edilen analiz sonuçları, göstergelere ait dış yüklerin 0,45 ile 0,96 arasında olduğunu göstermektedir. Hair vd. (2014; 2017) çalışmalarında, açıklanan ortalama varyans değeri 0,50'den büyük ve bileşik güvenilirlik değeri 0,70'in üzerinde olduğunda, ölçüm modeli için 0,40 ile 0,70 arasındaki dış yükler yeterli olduğunu ifade etmektedir. DP ve RDIC faktörleri için bileşik güvenilirlik değeri incelendiğinde, bu değerlerin literatürde sıklıkla kabul edilen 0,70 eşik değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Hair vd. (2009) ve Nunnally (1978), bu bulgunun modelin iç tutarlılığı açısından yeterince güvenilir olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, Fornell ve Larcker (1981) 0,50'den büyük bir AVE değerinin ilgili yapının yakınsak geçerliliğe sahip olduğuna işaret ettiğini vurgulamıştır. Tablo 4'te sunulan bulgular doğrultusunda yakınsak geçerliliğin sağlandığı tespit edilmiştir. Dahası, DP faktörü için 0,84 ve RDIC faktörü için 0,75 olarak hesaplanan Cronbach's alpha değerleri, modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4: Yapısal Güvenilirlik ve Geçerlilik**

Faktör	Göstergeler	Dış Yükler (OL)	Açıklanan Ortalama Varyans (AVE)	Bileşik Güvenilirlik (CR)	Cronbach's Alpha (CA)
DP	CO	0,574	0,691	0,897	0,841
	HC	0,931			
	IDT	0,929			
	DPS	0,840			
RDIC	HTE	0,457	0,681	0,855	0,759
	RDE	0,960			
	RRD	0,955			

Geleneksel ayırt edici geçerlilik değerlendirme kriterleri göz önüne alındığında, bir göstergenin ait olduğu yapıya olan dış yükleme değerinin, diğer yapılara olan çapraz yüklerinden daha yüksek olması gerekmektedir (Hair vd., 2017). Tablo 5, her bir faktörün göstergeleri için hesaplanan çapraz yükleri içermektedir. Yapı incelendiğinde, HC göstergesinin DP faktörü ile ilişkili yükler arasında en büyük değeri aldığı ve çapraz yük değerinin 0,931 olduğu görülmektedir. Buna rağmen, aynı gösterge RDIC faktörü için daha düşük bir çapraz yük değeri (0,567) ortaya koymuştur. Tüm göstergeler için çapraz yükler incelendiğinde, faktörlerin ayırt edilebilir yapılarla ilişkili olduğu ve ayırt edici geçerliliğin sağlandığı sonucuna varılmaktadır.

**Tablo 5: Modelin Ayırt Edici Geçerlilik Sonuçları (Çapraz Yükler)**

	<b>DP</b>	<b>RDIC</b>
CO	<b>0,574</b>	0,358
HC	<b>0,931</b>	0,567
IDT	<b>0,929</b>	0,667
DPS	<b>0,840</b>	0,409
HTE	0,171	<b>0,457</b>
RDE	0,522	<b>0,960</b>
RRD	0,686	<b>0,955</b>

Ölçüm modelinin ayırt edici geçerliliğinin test edilmesi için literatürde kullanılan alternatif yaklaşımlar arasında Fornell-Larcker ve Heterotrait Monotrait Oranı (HTMT) yer almaktadır. Tablo 6'ya göre, AVE'nin (köşegen elemanlar) karekökü, karşılık gelen yapılar arası korelasyonlardan daha büyük olduğundan bu bulgu ayırt edici geçerliliğin varlığına işaret etmektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Ayrıca, parantez içindeki 0,691 değeri HTMT oranını temsil eder ve bu değer 0,90'dan küçük olması, ayırt edici geçerliliğin sağlandığını göstermektedir.

**Tablo 6: Fornell-Larcker Kriteri ve HTMT Oranı - Ayırt Edici Geçerlilik**

<b>Faktör</b>	<b>DP</b>	<b>RDIC</b>
DP	0,831	
RDIC	0,626	0,825
	(0,691)	

Güvenilirlik ve geçerliliğin değerlendirildiği yapısal modelde, çoklu doğrusallığın mevcut olup olmadığı da belirlenmelidir. Buna göre, Tablo 7'deki göstergelerin VIF değerlerinin eşik değer 5'ten düşük olduğu gözlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, yapısal modelde çoklu doğrusallık probleminin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

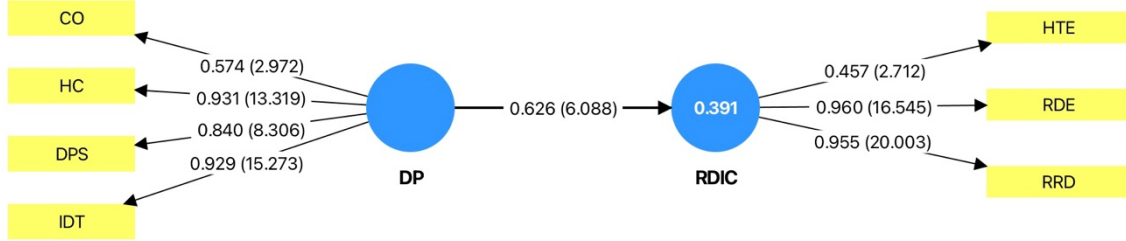
**Tablo 7: Çoklu Doğrusallık Sonuçları**

Faktör	Göstergeler	VIF
DP	CO	1,216
	HC	4,398
	IDT	3,510
	DPS	2,596
RDIC	HTE	1,285
	RDE	4,683
	RRD	4,123

YEM’de kullanılan reflektif ölçüm modellerinde göstergeler gizil değişkenlerin bir fonksiyonu olarak tanımlanmakla birlikte, nedensellik gizil yapıdan göstergelere doğrudur (Coltman vd., 2008; Diamantopoulos ve Siguaw, 2006). Bu çalışmada DP ve RDIC, sırasıyla ülkelerin dijital performansı ile Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini yansıtan ilgili göstergelerin gözlemlenebilir yansımaları aracılığıyla ölçülen reflektif gizil yapılar olarak modellenmiştir. DESI başlangıçta bileşik bir endeks olarak oluşturulmuş olsa da, bu çalışmada dijital performans, DESI çerçevesinde yer alan boyutlar tarafından yansıtılan gizil bir yapı olarak kavramsallaştırılmıştır. Modelde doğrudan gözlemlenemeyen bir yapı olan dijital performans, DESI’nin bağlanabilirlik (CO), beşeri sermaye (HC), dijital kamu hizmetleri (DPS) ve dijital teknoloji entegrasyonunu (IDT) temsil eden göstergelerdeki gözlenen ortak varyans aracılığıyla ölçülmektedir. Bu yaklaşım, PLS-SEM literatüründe önerilen yansıtıcı ölçüm spesifikasyonu tutarlıdır (Hair vd., 2021). Benzer şekilde yüksek teknoloji ihracatı, Ar-Ge harcamaları ve Ar-Ge araştırmacı sayısı göstergeleri de RDIC kavramının gözlemlenebilir yansımaları olarak ele alınmıştır. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarla uyumlu olarak, bu çalışmada DP ve RDIC, ilgili göstergeler aracılığıyla reflektif gizil değişkenler olarak modellenmiştir (Başol vd., 2023; Crăciun vd., 2023; Magoutas vd., 2024; Rîndaşu vd., 2023).

Şekil 1, tahmin edilen modelin PLS-SEM standartlaştırılmış yol katsayılarını ve parantez içinde t-istatistik değerlerini sunmaktadır. Yapısal modeldeki yol katsayılarının anlamlılığını değerlendirmek için 5000 örnekleme bootstrap yeniden örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Yapısal modeldeki yol katsayıları %1 anlamlılık düzeyinde test edilmiştir. Araştırmanın hipotezi olan DP ve RDIC’e ait hipotez yolunun hesaplanan t-değeri 6,088 olduğundan bu değer çift kuyruklu t-istatistik değeri 2,57 eşik değerinin ( $\alpha = 0,01$ ) üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, DP’den RDIC’e giden yolun %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Modele ilişkin katsayı değerleri incelendiğinde, sonuçlar 27 AB ülkesi için DP’nin RDIC’in gelişiminde etkili bir faktör olduğunu göstermiştir ( $\beta = 0,626$ ,  $p < 0,01$ ). Buna dayanarak CO, HC, IDT ve DPS göstergeleri ile ölçülen DP faktöründeki bir değişimin, HTE, RDE ve RRD göstergeleri ile ölçülen RDIC faktörü üzerinde %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Başka bir deyişle, DP’deki artışın, RDIC faktörünün HTE, RDE ve RRD göstergelerinde gözlemlenen değerlerle pozitif yönde ilişkili olduğu görülmektedir. Bu durum, DP’nin RDIC’in gelişmesine katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

**Şekil 1: Standartlaştırılmış Yol Katsayıları ve t-Değerleri ile Yapısal Model (Bootstrapping)**



Şekil 1 ve Tablo 8’de gösterilen faktörler ve göstergeler arasındaki yollar, modeldeki tüm yol katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade etmektedir. CO, HC, DPS ve IDT göstergelerinin t-değerleri sırasıyla 2,972, 13,319, 8,306 ve 15,273 olarak belirlendiğinden ve  $p < 0,01$  olduğundan, bu göstergelerin DP faktörünü istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde ölçtüğü belirlenmiştir. Benzer şekilde HTE, RDE ve RRD değişkenleri için t-istatistikleri sırasıyla 2,712, 16,545 ve 20,003 olarak hesaplanmış ve tüm değerler %1 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu bulgular doğrultusunda, söz konusu göstergelerin RDIC faktörünün anlamlı göstergeleri olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 8: Model Sonuçları**

İlişki	Orijinal Örneklem (O)	St. Sapma (SS)	t değeri ( $ O/SS $ )	p değeri
Göstergeler←Faktörler				
CO←DP	0,574	0,193	2,972	0,003
HC←DP	0,931	0,070	13,319	0,000
DPS←DP	0,840	0,101	8,306	0,000
IDT←DP	0,929	0,061	15,273	0,000
HTE←RDIC	0,457	0,169	2,712	0,007
RDE← RDIC	0,960	0,058	16,545	0,000
RRD← RDIC	0,955	0,048	20,003	0,000

DP’nin RDIC üzerinde istatistiksel olarak pozitif ve anlamlı bir etkisi olduğunu ifade eden  $H_1$  hipotezi, çalışmada elde edilen bulgularla uyumlu olarak desteklenmiştir ( $H_1: \beta = 0,626$ ,  $p < 0,01$ ). Şekil 1 ve Tablo 9’daki PLS-SEM analiz sonuçlarına göre, 0,626’lık yol katsayısı, DP ile RDIC arasında pozitif ve %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, AB ülkelerinin dijital performans düzeyindeki 1 birimlik bir artışın, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini 0,626 birim artırdığını göstermektedir; başka bir deyişle, bir ülkenin dijital performansı ne kadar yüksekse, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin de o kadar yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 9: Hipotez Testi ve Yapısal Model Değerlendirmesi

Hipotez	Orijinal Örneklem(O)	St. Sapma (SS)	t-değeri ( $ O/SS $ )	p-değeri	R <sup>2</sup>	f <sup>2</sup>	Q <sup>2</sup>	Karar
DP→ RDIC (H <sub>1</sub> )	0,626	0,103	6,088	0,000	0,391	0,643	0,372	Doğrulandı

DP ve RDIC hipotezleri arasındaki ilişkinin hesaplanan tüm değerleri Tablo 9’da gösterilmiştir. Bağımlı değişken RDIC için R<sup>2</sup> değeri 0,391 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, DP bağımsız değişkeninin RDIC’deki varyansın %39,1’ini açıkladığı anlamına gelmektedir. Ayrıca, model tahmininde yüksek bir etki büyüklüğü (f<sup>2</sup>: 0,643 > 0,35) elde edilmiş ve tahmin gücünü ölçen Stone-Geisser Q<sup>2</sup> değerinin orta düzeyde (Q<sup>2</sup>: 0,372 > 0,25) olduğu belirlenmiştir. Bulgular, H<sub>1</sub> hipotezinin istatistiksel olarak desteklendiğini ortaya koymaktadır.

## 5. SONUÇ

Dijitalleşmenin her geçen gün hızla ilerlediği günümüzde, inovasyon yapabilme ve teknolojik gelişmelere hızla uyum sağlama yeteneği, uzun vadeli başarının belirleyici unsurlarından biridir. Bilgiye ve çeşitli kaynaklara erişimi kolaylaştırırken uluslararası iş birliğini de teşvik eden dijital teknolojiler, inovasyon faaliyetlerinin önünü açmaktadır (Värzaru ve Bocean, 2024). Dolayısıyla, dijitalleşmeye daha fazla uyum sağlayan ülkeler, zaman içinde değişen koşullar karşısında rekabet avantajı elde edebilmektedir. Bu çerçevede mevcut çalışma, 27 Avrupa Birliği ülkesinin dijital performans düzeyinin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisini 2022 verilerini kullanarak kısmi en küçük kareler yapısal eşitlik modellemesi ile analiz etmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular, AB ülkelerinde dijital performansın Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerinde %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda sonuçlar, dijitalleşmenin ülkelerin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini artırmak için etkili bir strateji olarak değerlendirilebileceğini öne süren literatürdeki çalışmalarla tutarlılık sergilemektedir. Duarte ve Oliveira Carvalho (2024), dijital dönüşümün firmalar düzeyinde ve ulusal düzeyde inovasyon süreçlerini kökten değiştirdiğini ve inovasyon çıktısına ulaşmada belirleyici bir faktör olduğunu belirtmiştir. Du ve Wang (2024) ise, Çin eyaletlerinin 2013-2018 yıllarına ait verilerini kullanarak dijital altyapının inovasyon ekosistemi üzerindeki destekleyici etkisini vurgulamıştır. Benzer şekilde, Värzaru ve Bocean (2024), dijital teknolojilerin inovasyon ve rekabet gücünü artırmada kritik bir bileşen olduğunun altını çizerek politika yapımcılar için stratejik öneriler sunmaktadır. Bulgular, şirketlerin AB’nin hızla gelişen dijital ortamında uzun vadeli rekabet gücünü korumak için dijital teknolojileri entegre etmeye öncelik vermeleri gerektiğini ortaya koymaktadır. Çeviker ve Sarıdoğan (2006), 22 OECD ülkesinin 1992-2002 dönemine ait verilerini kullanarak bilgi ve iletişim teknolojilerinin Ar-Ge faaliyetlerinde sağladığı verimlilikler yoluyla inovasyon süreçlerine olumlu katkıda bulunduğunu göstermiştir. Yazarlar, bilgi ve iletişim teknolojisi harcamalarındaki artışın inovasyon potansiyelini artıracaklarını vurgulamıştır. Apak vd. (2008), bilgi ve iletişim teknolojisi yatırımı ile inovasyon arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu savunmuştur. Bununla birlikte dijitalleşme ile Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi arasındaki ilişkinin potansiyel olarak çift yönlü olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Nazarov ve Kostyuchenko (2022) çalışmalarında bulut bilişim, büyük veri analitiği gibi dijital teknolojilerin yaygın olarak benimsenmesinin Ar-

Ge kapasitesini geliştirerek inovasyonu tetiklediğini ifade etmiştir. Diğer taraftan inovasyon arayışının ise dijital altyapının gelişimine katkıda bulunduğu; performansı ve güvenliği artırmayı amaçlayan Ar-Ge çalışmalarının, yeni donanım ve yazılım teknolojilerinin geliştirilmesini tetiklediğini belirtmiştir. Çalışmada bilgi ve iletişim teknolojilerinin inovasyonun hızlanmasına yol açtığı, inovasyonun da dijitalleşme ve BİT gelişimi üzerinde çok daha güçlü bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, dijitalleşme ile Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi arasındaki ilişkinin tek yönlü değil, karşılıklı etkileşim içeren bir süreç olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, güçlü Ar-Ge ve inovasyon kapasitesine sahip ülkelerin dijital teknolojileri daha hızlı benimseyebileceği ihtimali de dikkate alınmalıdır.

Literatürde dijital ekonomi göstergelerinin yalnızca inovasyon ile değil aynı zamanda daha geniş kalkınma çıktıları ile de ilişkili olduğu görülmektedir. Nitekim Topçu (2021), AB ülkelerinde dijital ekonomi göstergelerindeki artışın sürdürülebilir kalkınmayı pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkilediğini ifade etmiştir. Benzer şekilde Taş vd. (2021) işletmelerde dijital teknoloji entegrasyonunun inovatif endüstri ve toplumsal kalkınma üzerinde pozitif bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, AB ülkelerinin dijital performansını iyileştirmeye yönelik politikaların Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini destekleyebileceğini göstermektedir. Ampirik sonuçlar incelendiğinde, dijital performans faktörüne ait göstergeler arasında beşeri sermaye ve dijital teknoloji entegrasyonunun daha yüksek yük değerlerine sahip olduğu gözlemlendiğinden bu göstergelerin ilgili faktörü daha güçlü temsil ettiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla dijital performansın Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerindeki etkisinin beşeri sermaye ve dijital teknoloji entegrasyonu göstergeleri üzerinden daha belirgin biçimde ortaya çıktığı değerlendirilebilir. Bu durum dijital becerilere sahip işgücünün varlığı ve dijital teknolojileri üretim süreçlerine entegre edebilme kapasitesinin ülkelerin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi açısından önemli rol oynayabileceğine işaret etmektedir. Bu noktada, ülkelerin dijital altyapısını oluşturan bulut teknolojileri, yüksek hızlı internet ve veri merkezleri gibi alanlarda etkinliklerini artırmak, uzun vadeli stratejik hedefler arasında yer almalıdır. Beşeri sermaye açısından, Ar-Ge ve inovasyonla ilgili sektörlerde yapay zeka, yazılım ve veri bilimi gibi alanlarda dijital becerileri geliştiren eğitimlere öncelik verilmelidir. Büyük veri ve yapay zeka gibi dijital araçlar endüstriyel işletmelerde teşvik edilmeli ve işletmelere Ar-Ge faaliyetlerini hızlandırmak için dijital araçlara erişim konusunda teşvikler ve vergi indirimleri sunulmalıdır. Patent başvuruları ve kamu-üniversite-sanayi iş birlikleri gibi alanlarda inovasyon süreçlerini kolaylaştırmak için kamu hizmetlerinde dijitalleşme yaygınlaştırılmalıdır.

Bu çalışmada araştırma modeli, esas olarak AB ülkelerinin dijital performansı ile Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi arasındaki yapısal ilişkiyi incelemeye odaklanacak şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte literatürde Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi üzerinde doğrudan yabancı yatırımlar, eğitim harcamaları, ekonomik büyüme, ticari açıklık veya finansal gelişmişlik gibi çeşitli makroekonomik faktörlerin de etkili olabileceği vurgulanmaktadır. Söz konusu değişkenler araştırma modelinin kapsamı dışında bırakıldığı için elde edilen bulguların, modelde yer alan değişkenler çerçevesinde değerlendirilmesi gerektiği dikkate alınmalıdır. Öte yandan Ar-Ge ve inovasyon kapasitesini etkileyebilecek diğer makroekonomik veya kurumsal faktörlerin gelecekteki araştırmalarda daha kapsamlı modellerle incelenmesinin literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca gelecekteki araştırmacılar daha geniş ülke örneklemelerini, alternatif teknikleri ve farklı zaman dönemlerini temel alarak ülkeleri gelişmişlik

düzeylerine göre sınıflandırıp Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin belirleyicilerini daha ayrıntılı biçimde inceleyebilirler.

#### **KAYNAKÇA**

- Akinwale, Y. O., Dada, A. D., Oluwadare, A. J., Jesuleye, O. A., & Siyanbola, W. O. (2012). Understanding the nexus of R&D, innovation and economic growth in Nigeria. *International Business Research*, 5(11), 187-196. <https://doi.org/10.5539/ibr.v5n11p187>
- Apak, S., Saridoğan, E., & Uçak, A. (2008). *Macroeconomic determinants of innovation*. In International Conference Patent and Innovation. (December 19-20), Applied Econometric Association. Tokyo, Japan.
- Astrachan, C. B., Patel, V. K., & Wanzenried, G. (2014). A comparative study of CB-SEM and PLS-SEM for theory development in family firm research. *Journal of Family Business Strategy*, 5(1), 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.jfbs.2013.12.002>
- Awang, Z., Afthanorhan, A., & Asri, M. A. M. (2015). Parametric and non-parametric approach in structural equation modeling (SEM): the application of bootstrapping. *Modern Applied Science*, 9(9), 58-67. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n9p58>
- Bagozzi, R. P., & Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *Journal of The Academy of Marketing Science*, 16(1), 74-94. <https://doi.org/10.1007/BF02723327>
- Barroso, C., Cepeda, G., & Roldan, J.L. (2010). Applying maximum likelihood and PLS on different sample sizes: studies on SERVQUAL model and employee behavior model, *Handbook of Partial Least Squares, Springer Handbooks of Computational Statistics*, (Ed: Esposito-Vinzi, V., Chin, W., Henseler, J. and Wang, H.), Springer, Berlin.
- Başol, O., & Yalçın, E. C. (2021). How does the Digital Economy and Society Index (DESI) affect labor market indicators in EU countries?. *Human Systems Management*, 40(4), 503-512. <https://doi.org/10.3233/HSM-200904>
- Başol, O., Sevgi, H., & Yalçın, E. C. (2023). The effect of digitalization on youth unemployment for EU countries: Treat or threat?. *Sustainability*, 15(14), 11080. <https://doi.org/10.3390/su151411080>
- Başol, O., & Yalçın, E. C. (2024). Dijital ekonomi ve toplum endeksi'nin yaşam kalitesi endeksi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 20(2), 224-240. <https://izlik.org/JA35WM76MJ>
- Buchinskaya, O. N., & Dyatel, E. P. (2019). Influence of high-technology exports and foreign charges for the use of intellectual property on economic growth. *Journal of New Economy*, 20(2), 114-126. <https://doi.org/10.29141/2073-1019-2019-20-2-7>
- Chin, W. W., & Newsted, P. R. (1999). Structural equation modeling analysis with small samples using partial least squares. In R. H. Hoyle (Ed.), *Statistical strategies for small sample research* (pp. 307–341). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach for structural equation modeling. In G. A. Marcoulides (Ed.), *Modern methods for business research* (pp. 295–336). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Coltman, T., Devinney, T. M., Midgley, D. F., & Venaik, S. (2008). Formative versus reflective measurement models: Two applications of formative measurement. *Journal of Business Research*, 61(12), 1250-1262. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2008.01.013>
- Crăciun, A. F., Țăran, A. M., Noja, G. G., Pirtea, M. G., & Răcățăian, R. I. (2023). Advanced modelling of the interplay between public governance and digital transformation: New empirical evidence from structural equation modelling and Gaussian and mixed-Markov graphical models. *Mathematics*, 11(5), 1168. <https://doi.org/10.3390/math11051168>
- Çeviker, A., & Saridoğan, E. (2006). Bilgi ve iletişim teknolojileri ve yenilik üretimi: OECD ülkeleri üzerine ekonometrik bir analiz. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 477-496. <https://izlik.org/JA47EW49AR>
- DESI. (2022). *Digital Economy and Society Index (DESI) 2022—Thematic Chapters*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022>
- Diamantopoulos, A., & Siguaw, J. A. (2006). Formative versus reflective indicators in organizational measure development: A comparison and empirical illustration. *British Journal of Management*, 17(4), 263-282. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2006.00500.x>
- Du, Z. Y., & Wang, Q. (2024). Digital infrastructure and innovation: Digital divide or digital dividend?. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(3), 100542. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100542>
- Duarte, M. P., & de Oliveira Carvalho, F. M. P. (2024). How digital transformation shapes European Union countries' national systems of innovation: A Configurational moderation approach. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(4), 100578. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100578>
- Edvardsson, B., Johnson, M. D., Gustafsson, A., & Strandvik, T. (2000). The effects of satisfaction and loyalty on profits and growth: Products versus services. *Total Quality Management*, 11(7), 917-927. <https://doi.org/10.1080/09544120050135461>
- European Commission. (2025a). *2025 State of the digital decade package*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/2025-state-digital-decade-package>
- European Commission. (2025b). *The Digital Economy and Society Index (DESI)*. Retrieved from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
- Falk, M. (2009). High-tech exports and economic growth in industrialized countries. *Applied Economics Letters*, 16(10), 1025–1028. <https://doi.org/10.1080/13504850701222228>
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Structure equation models: LISREL and PLS applied to customer exist-voice theory. *Journal of Marketing Research*, 18(2), 39-50.
- Fortea, C., Antohi, V. M., Zlati, M. L., & Meca, A. (2024). The impact of digital transformation and innovation on economic performance in the European Union. *Revista de Management Comparat International*, 25(5), 908-927. <https://doi.org/10.24818/rmci.2024.5.908>
- Geisser, S. (1974). A predictive approach to the random effect model. *Biometrika*, 61(1), 101-107. <https://doi.org/10.1093/biomet/61.1.101>
- Hair, J. F., Jr., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

- Hair, J. F., Jr., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2016). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* [Kindle Edition]. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., & Thiele, K. O. (2017). Mirror, mirror on the wall: A comparative evaluation of composite based Structural Equation Modeling methods. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 45(5), 616–632. <https://doi.org/10.1007/s11747-017-0517-x>
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139-152. <https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202>
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31(1), 2-24. <https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, H. A. (2009). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice-Hall.
- Hair, J.F., Hult, G.T, Ringle, & Sarstedt, C. (2014). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*, London: SAGE
- Hair, J.F., Ringle, C.M. & Sarstedt, M. (2013). Editorial-Partial Least Squares Structural Equation Modeling: rigorous applications, better results and higher acceptance. *Long Range Planning*, 46(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2013.01.001>
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook*. Springer international publishing.
- Hock, M., & Ringle, C. M. (2006). *Strategic networks in the software industry: An empirical analysis of the value continuum*. in Proceedings of the IFSAM VIIIth World Congress. Berlin, Germany, September 28–30.
- Hoyle, R. H. (Ed.). (1995). *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Hulland, J. (1999). Use of Partial Least Squares (PLS) in strategic management research: A review of four recent studies. *Strategic Management Journal*, 20(2), 195-204. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199902\)20:2<195::AID-SMJ13>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199902)20:2<195::AID-SMJ13>3.0.CO;2-7)
- Hussain, A., Iqbal, M., Khan, J. A., Khan, M., & Arafat, Q. Y. (2022). Digital transformation, innovation and sustainable growth. *Competitive Social Sciences Research Journal (CSSRJ)*, 3(2), 403-414.
- Jovanović, M., Dlačić, J., & Okanović, M. (2018). Digitalization and society's sustainable development—Measures and implications. *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci*, 36(2), 905-928. <https://doi.org/10.18045/zbefri.2018.2.905>
- Jöreskog, K. G. (1973). A general method for estimating a linear structural equation system. In A. S. Goldberger & O. D. Duncan (Eds.), *Structural equation models in the social sciences*. New York, NY: Seminar Press.
- Kim, S., Choi, B., & Lew, Y. K. (2021). Where is the age of digitalization heading? The meaning, characteristics, and implications of contemporary digital transformation. *Sustainability*, 13(16), 8909. <https://doi.org/10.3390/su13168909>

- Kock, N., & Hadaya, P. (2018). Minimum sample size estimation in PLS-SEM: The inverse square root and gamma-exponential methods. *Information Systems Journal*, 28(1), 227-261. <https://doi.org/10.1111/isj.12131>
- Li, K., Kim, D. J., Lang, K. R., Kauffman, R. J., & Naldi, M. (2020). How should we understand the digital economy in Asia? Critical assessment and research agenda. *Electronic Commerce Research and Applications*, 44, 101004. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2020.101004>
- Lohmöller, J.B. (1989). *Latent variable path modeling with partial least squares*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Magoutas, A. I., Chaideftou, M., Skandali, D., & Chountalas, P. T. (2024). Digital progression and economic growth: Analyzing the impact of ICT advancements on the GDP of European Union countries. *Economies*, 12(3), 63. <https://doi.org/10.3390/economies12030063>
- Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 103773. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>
- Nazarov, O., & Kostyuchenko, A. (2024). The bilateral linkages between innovations and digitalization. Evidence from CIS countries. *Science and Innovation*, 3(A1), 66-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10511035>
- Nigam, J. K. (1986). Structuring of research institutes to promote integration with industry. In M. D. Nengu (Ed.), *R&D institutes and local industry interaction: An international perspective*. WAITRO.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Oslo Kılavuzu (2005). *Yenilik Verilerinin Toplanması ve Yorumlanması için İlkeler*, (Çev: TÜBİTAK). Üçüncü Baskı, TÜBİTAK Yayınları, Ankara.
- Özkan, O., & Atan, M. (2023). Dijital ekonomi ve toplum indeksinin çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile incelenmesi. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 58(4), 3113-3134. <https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.23.11.2182>
- Özsoy, S., Ergüzel, O. Ş., Ersoy, A. Y., & Saygılı, M. (2022). The impact of digitalization on export of high technology products: A panel data approach. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 31/2, 277-298. <https://doi.org/10.1080/09638199.2021.1965645>
- Pu, T. (2025). How digital transformation shapes corporate R&D expenditure: An exploration of multidimensional perspectives and innovation consequences. *SAGE Open*, 15(3), <https://doi.org/10.1177/21582440251349>
- Ringle, C. M., Wende, S., & Will, A. (2005). *SmartPLS 2.0 (Beta)*. Hamburg: University of Hamburg.
- Rîndaşu, S. M., Ionescu-Feleagă, L., Ionescu, B. Ş., & Topor, I. D. (2023). Digitalization and skills adequacy as determinants of innovation for sustainable development in EU countries: a PLS-SEM approach. *Amfiteatru Economic*, 25, 968-986. <https://doi.org/10.24818/EA/2023/S17/968>
- Rouf, M. A., & Akhtaruddin, M. (2018). Factors affecting the voluntary disclosure: a study by using smart PLS-SEM approach. *International Journal of Law and Management*, 60(6), 1498-1508. <https://doi.org/10.1108/IJLMA-01-2018-0011>

- Singh, A. K., & Jyoti, B. (2023). Impact of digitalization on global sustainable development across countries. *Green and Low-carbon Economy*, 1-20. <https://doi.org/10.47852/bonviewGLCE32021482>
- Sochul'áková, J. (2020). Research and development expenditure and their importance for innovation development. *University Review*, 14(4), 18-23.
- Solis, B. (2017). *The Six Stages of Digital Transformation Maturity*, San Francisco, CA: Altimeter Group.
- Stone, M. (1974). Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Methodological)*, 36(2), 111–133. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1974.tb00994.x>
- Şahinoğlu, K. T., & Yakut, S. G. (2019). An evolution on effect of freedoms on economic performance with structural equation modeling. *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, 30, 1-20. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2019.30.0005>
- Taş, Ç. K., Özel, S. Ö., & Veysikarani, D. (2021). Dijital ekonominin sürdürülebilir kalkınma hedefleri üzerine etkisi: Avrupa birliği ülkeleri için bir inceleme. *Abant Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(2), 55-78. <https://doi.org/10.11616/basbed.vi.896953>
- Tebaldi, E. (2011). The determinants of high-technology exports: A panel data analysis. *Atlantic Economic Journal*, 39, 343–353. <https://doi.org/10.1007/s11293-011-9288-9>
- Topçu, B. A. (2021). Dijital ekonomi ve göstergelerinin sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkisi: AB ülkeleri örneği. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 4(2), 455-465. <https://doi.org/10.33712/mana.958754>
- Urbinati, A., Chiaroni, D., Chiesa, V., & Frattini, F. (2020). The role of digital technologies in open innovation processes: An exploratory multiple case study analysis. *R&D Management*, 50(1), 136-160. <https://doi.org/10.1111/radm.12313>
- Várzaru, A. A., & Bocean, C. G. (2024). Digital transformation and innovation: The influence of digital technologies on turnover from innovation activities and types of innovation. *Systems*, 12(9), 359. <https://doi.org/10.3390/systems12090359>
- Wold, H. (1975). Soft modeling by latent variables: The nonlinear iterative partial least squares approach. In J. Gani (Ed.), *Perspectives in probability and statistics* (pp. 117–142). London, UK: Academic Press.
- Wong, K. K. K. (2013). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) techniques using SmartPLS. *Marketing Bulletin*, 24(1), 1-32.
- World Bank Group. (2016). *World development report 2016: Digital dividends*. World Bank Publications. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/23347/9781464806711.pdf>
- World Bank. (2025). World Development Indicators. Retrieved from <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=world-development-indicatorsim>

---

---

EXTENDED ABSTRACT

---

---

*The Impact of Digitalization on R&D and Innovation Capacity in EU Countries: An Empirical Analysis*

**Introduction**

Digital transformation, which has become a fundamental element supporting and facilitating innovation, is a strategic change with the potential to improve the quality of social life, aiming at the development of the global economy, society, and individual lives (Kim et al., 2021; Urbinati et al., 2020). By reducing the cost of accessing information, digital technologies enable firms, individuals, and public institutions to carry out economic and social transactions at much lower costs, significantly stimulating innovation by reducing transaction costs to near zero (World Bank Group, 2016). In this context, European Union countries are accelerating their adaptation to new economic conditions to maintain their competitiveness in the global transformation process stemming from developments in digitalization, technology, and innovation. The EU's digital transformation and innovation action plan aims to promote sustainable development, reduce inequalities between countries, and optimize the living conditions of citizens. Within this framework, increased digitalization and R&D investments are enabling the restructuring of European economies and the emergence of new sources of growth and productivity (Fortea et al., 2024).

This study examines the impact of digital performance levels (DP) on R&D and innovation capacity (RDIC) in European Union countries using the PLS-SEM method, a multivariate statistical technique. Digital performance levels are assessed using the dimensions of the Digital Economy and Society Index (DESI). The analysis, using data from 2022, selects 27 EU countries as the sample group because they possess advanced data infrastructure for tracing digital transformation processes and represent the group of countries on which the DESI was based. Additionally, EU countries are implementing structural reforms that directly link innovation policies to digitalization strategies (European Commission, 2025a). Therefore, EU countries offer a suitable sample for determining the relationship between digital performance levels and R&D and innovation capacity. Furthermore, while the effects of sub-components such as human capital and digital infrastructure are mostly addressed separately in the literature, this study makes a significant contribution to the existing literature by examining the impact of digital performance, measured by the sub-dimensions of the DESI (a comprehensive and holistic indicator), on the R&D and innovation capacity of countries.

**Methodology**

In this study, partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM), whose foundations were laid by the Swedish statistician Herman Wold (1975), is used. This method can be used with small sample sizes and does not require any distribution assumptions about the data set and is therefore considered a flexible modeling tool in the literature (Awang et al., 2015; Lohmöller, 1989). PLS-SEM, which reveals causal relationships in the model by combining principal component analysis and regression analysis, relies on an iterative estimation process to estimate latent variables (Edvardsson, 2000).

The SmartPLS software developed by Ringle, Wende, and Will (2005) was utilized in the PLS-SEM estimation process. The recommended sample size for SmartPLS analyses in the literature is generally between 30 and 100; however, some studies suggest that sample sizes

between 20 and 30 may also be sufficient (Başol and Yalçın, 2021; Chin and Newsted, 1999; Kock and Hadaya, 2018; Şahinoğlu and Yakut, 2019). In this study, the SmartPLS software, which supports the PLS-SEM approach, was used as an innovative tool to model the relationship between digital performance and R&D and innovation capacity indicators with a methodology designed in accordance with validity principles.

### **Findings**

PLS-SEM uses composite reliability and Cronbach's alpha values for internal consistency reliability, and outer loading values for indicator reliability. The AVE value is considered for convergent validity, while the HTMT value and Fornell-Lacker criterion are considered for discriminant validity. In evaluating the structural model, multicollinearity (VIF), effect size ( $f^2$ ), coefficient of determination ( $R^2$ ), path coefficients, and predictive power ( $Q^2$ ) are considered (Hair et al., 2017).

The AVE values for the DP and RDIC factors were determined as 0.691 and 0.681, respectively. Values higher than 0.50 indicate that convergent validity is achieved (Fornell and Larcker, 1981). Composite reliability values above 0.70 found in the study demonstrate the internal consistency of the model (Hair et al., 2009; Nunnally, 1978). Outer loadings ranging from 0.45 to 0.96 are sufficient for the measurement model. The HTMT ratio, calculated as 0.691, being less than 0.90 indicates that the model has discriminant validity. Since the VIF values in the model were observed to be lower than the threshold value of 5, it was concluded that the structural model does not have a multicollinearity problem.

Hypothesis  $H_1$ , which states that DP has a statistically positive and significant effect on RDIC, was supported in accordance with the findings obtained in the study ( $H_1: \beta=0.626, p<0.01$ ). According to the PLS-SEM analysis results, the path coefficient of 0.626 reveals a positive and statistically significant relationship between DP and RDIC at the 99% confidence level. This result shows that a 1-unit increase in the countries' digital performance level increases their R&D and innovation capacity by 0.626 units. The higher a country's digital performance, the higher its R&D and innovation capacity.

The calculated  $R^2$  value of 0.391 for the dependent variable RDIC means that the independent variable DP explains 39.1% of the variance in RDIC. Furthermore, a high effect size ( $f^2: 0.643 > 0.35$ ) was obtained in the model estimation, and the Stone-Geisser  $Q^2$  value, which measures the predictive power, was found to be moderate ( $Q^2: 0.372 > 0.25$ ). The findings reveal that hypothesis  $H_1$  is statistically supported.

### **Discussion and Conclusion**

The results are consistent with studies in the literature suggesting that digital performance can be considered an effective strategy for increasing the R&D and innovation capacity of countries. Duarte and Oliveira Carvalho (2024) stated that digital transformation has radically changed innovation processes at the firm and national levels and is decisive in achieving innovation output. Du and Wang (2024) emphasized the supportive effect of digital infrastructure on the innovation ecosystem in Chinese provinces. Similarly, Vărzaru and Bocean (2024) stressed that digital technologies are a critical component in increasing innovation and competitiveness.

Increasing the effectiveness of countries in areas such as cloud technologies, high-speed internet, and data centers, which constitute their digital infrastructure, should be among long-term strategic goals. Training that develops digital skills in artificial intelligence and software in R&D and innovation-related sectors should be prioritized. Incentives should be offered to businesses to

**Ayşegül YILDIZ**

access digital tools to accelerate R&D activities. Digitalization should be widespread in public services to facilitate innovation processes in areas such as patent applications and public-university-industry collaborations.



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).