

# İkiz Dönüşüm ve İstihdam: Türkiye Üzerine Ampirik Bir Analiz

Burcu Karaca<sup>1</sup>

## Özet

Teknolojik dönüşümün hız kazanmasıyla birlikte üretim, istihdam ve tüketim yapılarında köklü değişimler yaşanırken; doğal kaynakların yoğun ve çoğu zaman sürdürülebilir olmayan biçimde kullanımı çevresel sorunları küresel ölçekte derinleştirmiştir. Bu gelişmeler, çevresel sürdürülebilirliği odağa alan yeşil dönüşüm politikalarının ekonomik ve sosyal politika tasarımında giderek daha belirleyici hale gelmesine yol açmıştır. Son yıllarda ise dijitalleşme ile çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin birlikte ele alınması, “ikiz dönüşüm” yaklaşımını hem politika yapıcılar hem de akademik literatür açısından merkezi bir tartışma alanına taşımıştır. Bu bağlamda çalışma, Türkiye’de karbon yoğunluğu ve Ar-Ge harcamalarının istihdam üzerindeki etkisini ikiz dönüşüm perspektifinde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada 1990–2024 dönemine ait yıllık veriler kullanılmış ve değişkenler arasındaki ilişkiler zaman serisi ekonometrik yöntemlerle analiz edilmiştir. Serilerin durağanlık özellikleri Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi ile incelenmiş ve tüm serilerin birinci farkta durağan hale geldiği belirlenmiştir. Uygun gecikme uzunluğu VAR modeli aracılığıyla tespit edilmiş, ardından değişkenler arasındaki uzun dönemli ilişkiler Johansen eşbütünlük testi ile sınanmıştır. Elde edilen bulgular, istihdam oranı, karbon yoğunluğu ve Ar-Ge harcamaları arasında uzun dönemli eşbütünlük ilişkisi bulunduğunu göstermektedir. Uzun dönem katsayıları incelendiğinde, karbon yoğunluğundaki artışın istihdam üzerinde negatif etki yarattığı; buna karşılık Ar-Ge harcamalarındaki artışın istihdamı olumlu yönde desteklediği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, ekonomik büyüme sürecinde çevresel sürdürülebilirliğin gözetilmesinin ve yenilikçi üretim kapasitesinin artırılmasının istihdam yaratma potansiyeli açısından kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bulgular, politika yapıcılar için düşük karbonlu üretim yapısına geçiş ve Ar-Ge yatırımlarının teşvik edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

1 Dr., ORCID: 0000-0002-8186-3937

## 1.Giriş

Teknolojik gelişmelerin hız kazanması, ekonomik ve toplumsal yapılarda önemli dönüşümler yaratırken hem olumlu hem de olumsuz sonuçları beraberinde getirmektedir. Dijitalleşme üretim süreçlerinde verimlilik artışı, maliyetlerin düşmesi ve operasyonel hızın yükselmesi gibi avantajlar sağlarken, aynı zamanda artan otomasyon nedeniyle emek talebinin niteliğini değiştirmekte ve iş gücü uyum sorunlarını gündeme getirmektedir. Bunun yanında dijital teknolojilerin üretim ve tüketim süreçlerine hızlı entegrasyonu, doğal kaynak kullanımını artırarak çevresel baskıların yoğunlaşmasına ve çevresel tahribat risklerinin yükselmesine neden olabilmektedir. Bu durum, işletmelerin çevresel sürdürülebilirlik odaklı üretim ve yönetim yaklaşımlarını benimsemesini gerekli kılmaktadır.

Dijital dönüşüm yalnızca ekonomik ve teknolojik bir süreç değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedefleriyle güçlü bir etkileşim içindedir. Dijitalleşme, bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla üretimde verimliliği artırarak emisyonların izlenmesi, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması yoluyla yeşil dönüşümü destekleyebilmektedir. Ancak artan enerji tüketimi ve kaynak yoğun dijital altyapılar nedeniyle çevresel olumsuz etkiler de ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle dijital dönüşüm, hem sürdürülebilirliği destekleyen hem de bazı koşullarda çevresel hedeflerle çelişebilen ikili bir yapı sergilemektedir. Bu çerçevede “yeşil dijitalleşme”, dijital teknolojilerin düşük karbonlu ve kaynak verimli üretim yapısını destekleyecek şekilde kullanımını ifade ederek ikiz dönüşüm yaklaşımının temelini oluşturmaktadır (Herczeg vd., 2023).

Bu gelişmelerle birlikte 2015 Paris Anlaşması sonrasında yeşil dönüşüm küresel ölçekte daha fazla önem kazanmış, dijital teknolojilerin çevresel sürdürülebilirliğe katkısı politika düzeyinde yoğun biçimde tartışılmaya başlanmıştır. Özellikle 2020 yılında Avrupa Birliği'nin pandemi sonrası toparlanma kapsamında oluşturduğu 750 milyar avroluk pakette yeşil ve dijital dönüşüm projelerine öncelik verilmesi, bu iki alanın bütünlük bir politika yaklaşımı içinde ele alındığını göstermektedir. Akıllı teknolojiler ve Endüstri 4.0 uygulamaları karbon emisyonlarının azaltılmasında kritik araçlar haline gelmiştir. Bu gelişmeler, yeşil ve dijital dönüşümün birbirini desteklediği “ikiz dönüşüm” yaklaşımının benimsenmesini hızlandırmıştır. Literatürde de dijitalleşme ile yeşil dönüşüm arasında karşılıklı ve birbirini besleyen bir etkileşim olduğu vurgulanmaktadır (İşkur, 2024: 4-5).

Bu çerçevede ikiz dönüşüm yaklaşımı, dijitalleşme ile birlikte düşük karbonlu üretim yapısına geçişi destekleyerek daha sürdürülebilir bir ekonomik dönüşümü mümkün kılmaktadır. Ancak bu dönüşümün etkileri yalnızca

çevresel ve teknolojik boyutlarla sınırlı olmayıp, üretim süreçlerindeki değişim yoluyla işgücü piyasasını da doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda, ikiz dönüşümün istihdam üzerindeki etkilerinin bütüncül bir şekilde ele alınması önem taşımaktadır.

Teknolojik değişimlere uyum sağlayabilen ülkeler, kalkınma ve büyüme süreçlerinde daha hızlı ilerleme kaydetmektedir. Teknolojik ilerleme üretim yapısını dönüştürerek istihdamın niteliğini değiştirmekte, bazı sektörlerde nitelikli iş gücü talebini artırırken bazı mesleklerin önemini azaltarak emek yoğun işlerden daha nitelikli işlere doğru bir dönüşüm süreci ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, işgücünün niteliğini ön plana çıkararak eğitim ve mesleki eğitim politikalarının önemini artırmaktadır (Aydın, 2018: 464).

Literatürde teknolojinin istihdam üzerindeki etkileri farklı yaklaşımlarla ele alınmaktadır. Bir görüş teknolojik gelişmelerin yeni iş alanları ve istihdam fırsatları yarattığını savunurken, diğer görüş bazı işlerin ortadan kalkmasıyla işsizlik riskinin artabileceğini ileri sürmektedir. Genel olarak teknoloji, üretim süreçlerini dönüştürerek yeni çalışma biçimlerini ortaya çıkarmakta; ancak emek–teknoloji ikamesi nedeniyle bazı sektörlerde istihdam kayıplarına da yol açabilmektedir (Bayar ve Öztürk, 2021: 120).

Benzer şekilde yeşil dönüşüm de istihdam yapısını etkileyen önemli bir dönüşüm alanıdır. Küresel iklim değişikliği ve doğal kaynakların tükenmesi, sürdürülebilir büyümeyi esas alan yeşil ekonomi yaklaşımını öne çıkarmış ve bu süreçte yeni istihdam alanlarının oluşmasını beraberinde getirmiştir. Yeşil ekonomi, çevresel riskleri azaltırken ekonomik yapı içinde yeni iş alanları oluşturan ve sosyal refahı artıran bütüncül bir model olarak değerlendirilmektedir (Yeşil ve Fidan, 2017: 608; Erden Özsoy ve Tosunoğlu, 2023: 406).

Yeşil dönüşüm sürecinde istihdamın temel dinamiği, işgücünün yeni beceriler kazanarak üretim yapısına uyum sağlamasıdır. Bu süreç, özellikle yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ve düşük karbonlu teknolojiler gibi alanlarda yeni iş fırsatları doğururken, işgücünün yeniden tanımlanmasını da beraberinde getirmektedir (Gerşil ve Kalfaoğlu, 2018: 1217). Bu kapsamda “yeşil işler”, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen faaliyetleri ifade etmekte ve bu alanlarda çalışanlar “yeşil yakalılar” olarak tanımlanmaktadır. Bu meslekler daha çok uzmanlık ve sürekli öğrenme gerektirmekte olup, eğitim ve yaşam boyu öğrenme istihdam uyumu açısından kritik bir rol oynamaktadır (Satır Reyhan ve Duygu, 2015: 28).

Bu doğrultuda bu çalışmada, Türkiye’de 1990–2024 döneminde karbon yoğunluğu ve Ar-Ge harcamalarının istihdam üzerindeki etkisi ikiz dönüşüm perspektifinden analiz edilmektedir. Böylece yeşil ve dijital dönüşümün istihdam

üzerindeki uzun dönemli etkilerinin birlikte değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda izleyen bölümde, literatür yeşil dönüşüm ve istihdam ile dijital dönüşüm ve istihdam ilişkisi çerçevesinde ele alınmaktadır.

## 2.Literatür Taraması

Yeşil dönüşüm ve istihdam ilişkisine yönelik literatür, çevresel sürdürülebilirlik politikalarının işgücü piyasası üzerindeki etkilerini farklı boyutlarıyla ele almaktadır. Bu kapsamda yeşil ekonomi, yeşil işler ve yenilenebilir enerji yatırımlarının istihdam yaratma potansiyeli, sektörel etkileri ve işgücü yapısındaki dönüşümler hem teorik hem de ampirik çalışmalarla incelenmiştir. Çalışmaların bir kısmı yeşil dönüşümün istihdamı artırıcı etkisine vurgu yaparken, bir kısmı ise sektörel farklılıklar ve geçiş maliyetleri nedeniyle karma ya da sınırlı etkiler ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda ilgili literatür Tablo 1'de kronolojik olarak sunulmaktadır.

*Tablo 1. Yeşil Dönüşüm ve İstihdam*

Yazar(lar)	Yıl	Kullanılan Değişkenler	Yöntem	Temel Sonuç / Bulgular
Satır Reyhan & Duygu	2015	Yeşil ekonomi, istihdam	Literatür analizi	Yeşil istihdamın yeni iş fırsatları yarattığı ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklediği belirtilmiştir
Günaydın	2015	Yeşil işler, istihdam	Kavramsal analiz	Yenilenebilir enerji sektörünün yeni istihdam alanları oluşturduğu vurgulanmıştır
Görmüş	2016	Yeşil işler, çalışma koşulları	Tanımlayıcı analiz, Ki-kare	Yeşil sektörlerin daha iyi iş koşulları sunduğu ve istihdam kalitesini artırdığı belirlenmiştir
Ağpak & Özçiçek	2018	Yenilenebilir enerji, istihdam	Panel veri analizi	Yenilenebilir enerjinin istihdam etkisinin karma olduğu (bazı gruplarda negatif) bulunmuştur
Başol	2018	Yeşil işler	Teorik analiz	Yeşil işlerin istihdam içindeki payının artmakta olduğu ancak sınırlı olduğu belirtilmiştir
Erden Özsoy	2021	Yeşil işler	Literatür analizi	Yeşil işlerin etkisinin pozitif, negatif veya nötr olabileceği tartışılmıştır
Tiryakioğlu	2021	Yeşil istihdam politikaları	Politika analizi	Adil geçiş ve mesleki eğitim politikalarının önemi vurgulanmıştır
Nalinci	2023	Yeşil ekonomi	Kuramsal analiz	Yeşil ekonominin sürdürülebilir kalkınma için kritik olduğu belirtilmiştir

Doksanyedi & Meçik	2023	1990–2020 / Türkiye	Toda-Yamamoto	İstihdamdan karbon emisyonlarına tek yönlü nedensellik bulunmuştur
Vural & Ülgen	2024	Yeşil dönüşüm	Literatür	Yeşil dönüşümün yeni istihdam alanları oluşturduğu tespit edilmiştir
Düzel	2025	Yeşil ekonomi	Teorik analiz	Yeşil ekonominin çevresel ve sosyal fayda sağladığı belirtilmiştir

Dijital dönüşüm ve istihdam ilişkisi literatürde Endüstri 4.0, otomasyon, yapay zekâ, Ar-Ge yatırımları ve bilgi teknolojileri ekseninde ele alınmaktadır. Bu çalışmalar, teknolojik ilerlemenin emek talebi, istihdam yapısı ve işgücü piyasasının niteliği üzerindeki etkilerini farklı yöntemlerle analiz etmektedir. Literatürde bazı çalışmalar teknolojinin istihdamı azaltıcı etkisine vurgu yaparken, bazıları ise özellikle nitelikli işgücü ve yeni meslek alanları üzerinden istihdamı artırıcı etkiler tespit etmektedir. Ayrıca sektörel ve bölgesel farklılıkların sonuçları önemli ölçüde değiştirdiği görülmektedir. Bu bağlamda ilgili çalışmalar Tablo 2’de kronolojik olarak özetlenmiştir.

*Tablo 2. Dijital Dönüşüm ve İstihdam*

Yazar(lar)	Yıl	Kullanılan Değişkenler	Yöntem	Temel Sonuç / Bulgular
Satır Reyhan & Duygu	2015	Dijitalleşme	Literatür	Dijital dönüşümün emek piyasasını dönüştürdüğü vurgulanmıştır
Yankın	2019	Endüstri 4.0, robotik	Kavramsal analiz	Otomasyonun işsizlik riskini artırabileceği belirtilmiştir
Doğru & Meçik	2018	Endüstri 4.0	Firma beklentileri	İş-egitim uyumunun kritik olduğu vurgulanmıştır
Bayraktar & Uysal	2019	Ar-Ge, nüfus, istihdam	EKK + Granger	Nüfus istihdamı artırır, Ar-Ge anlamsız bulunmuştur
Bayar & Öztürk	2021	Ar-Ge, patent, teknoloji	VAR	Teknoloji ihracatı istihdamı azaltmaktadır
Küçük	2021	Dijital platformlar	Literatür	Gig ekonomi ve uzaktan çalışmanın yeni istihdam biçimleri yarattığı belirtilmiştir
Bulut & Yenipazarlı	2020	Ar-Ge, teknoloji	Panel (GEKK)	Üretim teknolojisi istihdamı azaltmakta, inovasyon artırmaktadır
Doğaner	2022	Ar-Ge, patent	ARDL	Ar-Ge istihdamı azaltırken patent artırmaktadır

Topcu	2021	Ar-Ge	AMG panel	Tarımda negatif, sanayi-hizmette pozitif etki vardır
Aydın	2018	Ar-Ge, ICT	ARDL	Teknoloji nitelikli istihdamı artırmaktadır
Şahinoğlu & Varıcı	2019	Teknoloji, istihdam	Zaman serisi	Teknolojinin istihdamı negatif etkilediği bulunmuştur
Yeşiltaş & Artar	2021	Dijital dönüşüm	Literatür	Teknolojinin etkisi konusunda literatürde görüş birliği yoktur
Doğaner & Meçik	2018	Endüstri 4.0	Kavramsal	Yapısal dönüşüm ve politika ihtiyacı vurgulanmıştır
Bayar & Öztürk	2021	Teknoloji	VAR	Teknoloji ihracatı istihdamı azaltmaktadır

### 3. Veri Seti ve Ekonometrik Yöntem

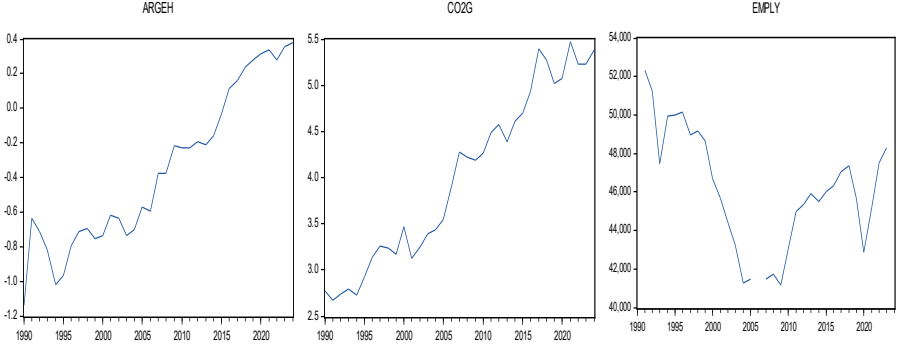
Bu araştırmada, Türkiye'ye ait 1990–2024 dönemini kapsayan yıllık veriler kullanılmış olup, istihdam oranı, CO<sub>2</sub> emisyonu ve Ar-Ge harcamalarına ilişkin veriler Dünya Bankası veri tabanından temin edilmiştir. Ar-Ge harcamaları, gayrisafi yurt içi hasıla içerisindeki payı (%) ile temsil edilirken; CO<sub>2</sub> emisyonları kişi başına düşen karbondioksit emisyonu (t CO<sub>2</sub>e/kişi) olarak ele alınmıştır. İstihdam oranı ise 15 yaş ve üzerindeki nüfus içinde istihdam edilen bireylerin toplam nüfusa oranı (%) şeklinde ölçülmüştür. Analizde tercih edilen zaman aralığı, değişkenlerin uzun dönemli seyrinin incelenmesine olanak sağlaması ve kesintisiz veri erişimi sunması nedeniyle seçilmiştir. Araştırma kapsamında istihdam oranı bağımlı değişken olarak belirlenirken, Ar-Ge harcamaları ile CO<sub>2</sub> emisyonları bağımsız değişkenler olarak modele dâhil edilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ait kısaltmalar Tablo 3'de sunulmaktadır.

*Tablo 3. Kullanılan Veri Tanımları*

Kullanılan Değişkenler	Kısaltması	Değişkenin Türü
İstihdam Oranı (%)	EMPLY	Bağımlı Değişken
Ar-Ge Harcamaları (%)	LNARGEH	Bağımsız Değişken
Co2 (kişi başı metrik ton)	CO2G	Bağımsız Değişken

Tablo 3'de tanımlanan istihdam oranı (EMPLY), Ar-Ge harcamaları (LNARGEH) ve kişi başına CO<sub>2</sub> emisyonu (CO2G) değişkenlerinin 1990–2024 dönemindeki seyri Grafik 1'de sunulmaktadır. Grafikler, değişkenlerin zaman içerisindeki eğilimlerini ve dalgalanmalarını görsel olarak ortaya koymaktadır. Her bir değişkene ait grafikler incelendiğinde, Ar-Ge harcamaları ve karbon emisyonu değişkenlerinin genel olarak artan bir eğilim sergilediği, buna karşılık istihdam oranının yıllar itibarıyla dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir.

**Grafik 1. Araştırmada Kullanılan Değişkenlerin Zaman İçindeki Durumu**



Ekonometrik inceleme kapsamında öncelikle serilerin durağanlık özellikleri Augmented Dickey–Fuller (ADF) birim kök testi kullanılarak analiz edilmiştir. Test sonuçları, değişkenlerin düzey değerlerinde durağan olmadığını, ancak birinci farklarının alınmasıyla durağanlaştığını ve  $I(1)$  mertebesinde bütünlük olduklarını göstermiştir. Değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunup bulunmadığını belirlemek amacıyla Johansen eşbütünlük testi uygulanmış, elde edilen bulgular seriler arasında en az bir adet eşbütünlük vektörünün varlığına işaret etmiştir. Uzun dönem ilişkisinin tespit edilmesinin ardından, kısa dönem uyum mekanizmasını ve dinamik etkileşimleri incelemek için Vektör Hata Düzeltme Modeli (VECM) tahmin edilmiştir. Ayrıca kurulan modelin istatistiksel açıdan uygunluğunu sınamak amacıyla otokorelasyon, değişen varyans ve normallik testleri gerçekleştirilmiştir.

Zaman serisi analizlerinde güvenilir ve anlamlı sonuçlar elde edilebilmesi, serilerin durağanlık özelliği taşımasına bağlıdır. Genel olarak ortalaması ve varyansı zaman içinde değişmeyen ve iki dönem arasındaki kovaryansı yalnızca gecikme uzunluğuna bağlı olan süreçler durağan olarak tanımlanmaktadır. Durağan olmayan serilerde ise bu özellikler zamanla değişim gösterdiği için analiz sonuçları yalnızca incelenen döneme özgü kalmakta ve farklı dönemlere genellenememektedir. Bu nedenle zaman serisinin yapısını doğru biçimde anlayabilmek için serilerin geçmiş değerleriyle olan ilişkisi dikkate alınarak durağanlık analizi yapılmakta, durağan olmayan serilerde ise sahte regresyon problemi ortaya çıkabilmektedir. Bu durum nedeniyle ekonometrik analizlerin başlangıç aşamasında serilerin durağanlık düzeyleri test edilmekte ve bütünlük dereceleri belirlenmektedir. Değişkenlerin aynı bütünlük derecesine sahip olması ise aralarındaki uzun dönemli ilişkilerin incelenebilmesi için temel bir ön koşul oluşturmaktadır (Gujarati, 2009: 740-741).

Bu çerçevede, bir zaman serisinin uzun dönemli davranışını ortaya koyabilmek için geçmiş dönemlerde aldığı değerlerin mevcut dönem üzerindeki etkisinin incelenmesi gerekmektedir. Serinin izlediği sürecin anlaşılabilmesi açısından mevcut değer ile geçmiş dönem değerleri arasındaki ilişkinin analiz edilmesi önem taşımaktadır. Literatürde bu amaçla geliştirilmiş çeşitli yöntemler bulunmakta birlikte, serilerin durağanlık özelliklerinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri birim kök analizidir. Birim kök testleri aracılığıyla serilerin durağan olup olmadığı istatistiksel olarak değerlendirilebilmektedir (Tarı, 2015: 387).

Ancak serilerin durağanlaştırılması amacıyla uygulanan fark alma işlemi, bazı durumlarda uzun dönemli bilgilerin kaybolmasına ve değişkenler arasındaki ilişkilerin göz ardı edilmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, durağan olmayan seriler arasındaki uzun dönemli denge ilişkilerinin araştırılmasında eşbütünleşme analizlerinden yararlanılmaktadır. Eşbütünleşme yaklaşımı, aynı dereceden bütünlük serilerin ortak bir stokastik trend etrafında hareket edebileceğini ve aralarında uzun dönemli bir ilişkinin bulunabileceğini kabul etmektedir. Bu durumda değişkenler arasında kurulan ilişki sahte regresyon niteliği taşımamakta, ekonomik açıdan anlamlı sonuçlar ortaya koymaktadır. Seriler arasındaki uzun dönemli ilişkinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan Johansen (1988) eşbütünleşme testi, aynı bütünlük derecesine sahip değişkenler arasındaki eşbütünleşme vektörlerini VAR (Vektör Otoregresif) modeline dayalı olarak tahmin etmektedir (Tarı ve Yıldırım, 2009: 100).

Johansen yaklaşımının önemli avantajlarından biri, eşbütünleşme vektörleri ile hata düzeltme katsayıları üzerinde çeşitli kısıtlamaların test edilmesine olanak sağlamasıdır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle VAR (Vektör Otoregresif) modelinin VECM (Vektör Hata Düzeltme Modeli) formuna dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu yönüyle Johansen yöntemi, Dickey-Fuller birim kök testinin çok değişkenli sistemlere uyarlanmış ve geliştirilmiş bir versiyonu olarak değerlendirilmektedir (Çil, 2018: 396).

Johansen ve Juselius (1990) tarafından geliştirilen yöntem, p gecikmeli bir VAR modeline dayanmaktadır ve aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$Y_t = \mu + A_1 Y_{t-1} + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Burada  $Y_t$ , birinci farkı alındığında durağan hale gelen, yani I(1) düzeyinde bütünlük değişkenlerden oluşan  $n \times 1$  boyutlu vektörü;  $\varepsilon_t$  ise hata terimleri vektörünü ifade etmektedir. Söz konusu VAR modeli, eşbütünleşme ilişkilerinin incelenebilmesi amacıyla VECM formunda aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilmektedir:

$$\Delta Y_t = \mu + \Pi Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} (i \Delta Y_t - i + \varepsilon) \quad (2)$$

Bu modelde  $\Pi = \sum_{i=1}^p A_i - I$  ve  $\Gamma_i = - \sum_{j=i+1}^p A_j$  olarak hesaplanır.  $\Pi$  matrisi uzun dönem ilişkileri temsil ederken,  $\Gamma_i$  matrisleri kısa dönem dinamiklerini yansıtmaktadır.  $\Pi$  matrisinin rankı ( $r$ ), sistemdeki eşbütünleşme vektörlerinin sayısını göstermektedir. Bu çerçevede  $\alpha$  matrisi hata düzeltme mekanizmasını ve dengeye dönüş hızını ifade eden uyarılma katsayılarını içerirken,  $\beta$  matrisi ise uzun dönem denge ilişkilerini gösteren eşbütünleşme vektörlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla  $\beta$  matrisinin her bir sütunu ayrı bir eşbütünleşme ilişkisini temsil etmektedir (Çetin, 2012: 222).

Söz konusu eşbütünleşme vektörlerinin sayısının belirlenmesi ve değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunup bulunmadığının ortaya konulması amacıyla Johansen eşbütünleşme yaklaşımında iki temel test istatistiğinden yararlanılmaktadır. Johansen (1988) ile Johansen ve Juselius (1990) tarafından geliştirilen bu yöntemde, eşbütünleşme ilişkisinin varlığı, maksimum iz (Trace) ( $\lambda_{iz}$ ) testi ve maksimum özdeğer (Maximum Eigenvalue) ( $\lambda_{max}$ ) testi olmak üzere iki farklı test istatistiği yardımıyla değerlendirilmektedir (Kazanasmaz, 2023: 256).

$$\lambda_{iz}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \lambda_i) \quad (3)$$

$$\lambda_{max}(r, r+1) = -T \ln(1 - \lambda_{r+1}) \quad (4)$$

Maksimum iz testi, sistemde yer alan eşbütünleşme vektörlerinin sayısının belirlenmesinde kullanılmakta ve  $r$  sayısına kadar eşbütünleşme vektörü bulunduğunu ileri süren sıfır hipotezini sınamaktadır. Maksimum özdeğer testi ise  $r$  adet eşbütünleşme vektörü bulunduğunu ifade eden sıfır hipotezini,  $r+1$  adet eşbütünleşme vektörü bulunduğunu öne süren alternatif hipoteze karşı test etmektedir. Bu testlerde kullanılan  $T$  değeri gözlem sayısını,  $\lambda$  ise karakteristik köklerden elde edilen özdeğerleri göstermektedir. Test istatistikleri özdeğerlerden hareketle hesaplanmakta olup karakteristik köklerin sıfıra yaklaşması durumunda test istatistikleri daha düşük değerler almaktadır. Johansen yöntemi sayesinde sistemde yer alan değişkenler arasındaki eşbütünleşme vektörlerinin sayısı belirlenebilmekte ve uzun dönemli denge ilişkilerinin varlığı istatistiksel olarak sınanabilmektedir (Sevüktekin ve Çınar, 2014: 587; Kazanasmaz, 2023: 256):

$\lambda_{iz}$  test istatistiği için hipotezler aşağıdaki şekildedir;

H0:  $r \leq r_0$  eşbütünleşme ilişkisi yoktur.

H1:  $r > r_0$  eşbütünleşme ilişkisi vardır.

$\lambda_{\max}$  test istatistiği için hipotezler aşağıdaki şekildedir;

H0:  $r = r_0$  eşbütünleşme ilişkisi yoktur.

H1:  $r = r_{0+1}$  eşbütünleşme ilişkisi vardır.

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.

#### 4. Ampirik Bulgular

Çalışmada kullanılan değişkenlerin zaman serisi analizleri için gerekli olan durağanlık koşulunu sağlayıp sağlamadığını belirlemek amacıyla Augmented Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi uygulanmıştır. Bu test aracılığıyla serilerin birim kök içerme durumları incelenmiş ve değişkenlerin düzeyde veya farkları alındıktan sonra hangi aşamada durağanlaştıkları tespit edilmiştir. Bu kapsamda Türkiye'ye ait istihdam oranı, Ar-Ge harcamaları ve CO<sub>2</sub> emisyonu verileri analiz sürecine geçilmeden önce birim kök testine tabi tutulmuştur. ADF testine ilişkin düzey [I(0)] sabit ve sabitli-trendli model sonuçları Tablo 4'de gösterilmektedir.

Tablo 4. ADF Birim Kök Testi Düzey I (0) Sonuçları

Düzey I(0)	Sabit		Sabit ve Trend	
Değişkenler	t-değeri	Kritik Değerler	t-değeri	Kritik Değerler
EMPLY	-2.140102 [0.2315]	-3.689194*	-1.364845 [0.8507]	-4.296729*
		-2.971853**		-3.568379**
		-2.625121***		-3.218382***
CO2G	-0.189459 [0.9679]	-3.639407*	-1.686959 [0.7352]	-4.252879*
		-2.951125**		-3.548490**
		-2.614300***		-3.207094***
LN(ARGEH)	-0.901023 [0.7757]	-3.639407*	-2.895728 [0.1763]	-4.252879*
		-2.951125**		-3.548490**
		-2.614300***		-3.207094***

Not: Uygun gecikme uzunluğu Schwarz bilgi kriterine göre belirlenmiştir. Parantez içindeki rakamlar (p-value) değerlerini göstermektedir. \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %1, %5, %10 anlam düzeylerini göstermektedir.

Tablo 4’de yer alan ADF birim kök testi sonuçları incelendiğinde, istihdam oranı (EMPLY), karbondioksit emisyonu (CO2G) ve Ar-Ge harcamaları [LN(ARGEH)] değişkenlerinin hem sabitli hem de sabitli-trendli modellerde elde edilen test istatistiklerinin mutlak değer olarak kritik değerlerden küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm değişkenlere ait olasılık (p) değerlerinin %10 anlamlılık düzeyinden büyük olması, sıfır hipotezi olan “seri birim kök içermektedir” hipotezinin reddedilemediğini göstermektedir. Bu sonuçlar, ilgili değişkenlerin düzey değerlerinde durağan olmadığını ve birim kök içerdiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla serilerin durağan hale getirilmesi için fark alma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle değişkenlerin bütünleşme derecelerini belirlemek amacıyla birinci fark düzeylerinde ADF birim kök testi uygulanmıştır.

*Tablo 5. ADF Birim Kök Testi Düzey I (1) Sonuçları*

Düzye I(1)	Sabit		Sabit ve Trend	
Değişkenler	t-değeri	Kritik Değerler	t-değeri	Kritik Değerler
EMPLY	-4.377310 [0.0019]	-3.689194*	-1.304311 [0.8485]	-4.667883*
		-2.971853**		-3.733200**
		-2.625121***		-3.310349***
CO2G	-5.523897 [0.0001]	-3.646342*	-5.749320 [0.0002]	-4.262735*
		-2.954021**		-3.552973**
		-2.615817***		-3.209642***
LN(ARGEH)	-7.879756 [0.0000]	-3.646342*	-7.995994 [0.0000]	-4.262735*
		-2.954021**		-3.552973**
		-2.615817***		-3.209642***

*Not: Uygun gecikme uzunluğu Schwarz bilgi kriterine göre belirlenmiştir. Parantez içindeki rakamlar (p-value) değerlerini göstermektedir. \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %1, %5, %10 anlam düzeylerini göstermektedir.*

Tablo 5’de birinci fark sonuçları incelendiğinde ise EEMPLY, CO2G ve LN(ARGEH) değişkenlerinin sabit model altında istatistiksel olarak anlamlı hale geldiği ve birim kök içermediği belirlenmiştir. Özellikle CO2G ve LN(ARGEH) değişkenlerinin hem sabit hem de sabit-trend modellerinde %1 anlamlılık düzeyinde durağan oldukları görülmektedir. EEMPLY değişkeni ise sabit model altında durağan hale gelirken, sabit ve trend modelde durağanlık göstermemektedir. Bununla birlikte serilerin genel olarak birinci farkta durağan hale gelmesi, değişkenlerin I(1) düzeyinde bütünleşik olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular, değişkenlerin aynı derecede bütünleşik olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin bulunup bulunmadığını belirlemek amacıyla eşbütünleşme analizine

başvurulmuştur. Serilerin aynı bütünleşme düzeyine sahip olması, uzun dönemli ilişkinin araştırılabilmesi için gerekli ön koşullardan birini sağlamakta olup bu doğrultuda Johansen eşbütünleşme testinin uygulanması uygun görülmüştür. Ancak eşbütünleşme analizinin uygulanabilmesi için öncelikle modele ait uygun VAR (Vektör Otoregresyon) gecikme uzunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli bilgi kriterleri kullanılarak optimal gecikme uzunluğu tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

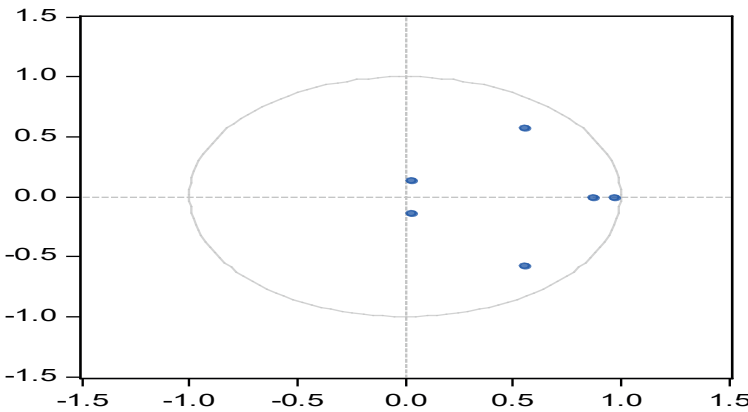
*Tablo 6. VAR Gecikme Uzunluğu Seçim Kriterleri*

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-189.4835	NA	187.7816	13.74882	13.89156	13.79246
1	-112.8595	131.3554*	1.508032	8.918533	9.489478	9.093077
2	-102.1578	16.05252	1.371398*	8.796985*	9.796138*	9.102436*

Tablo 6'da yer alan VAR gecikme uzunluğu seçim kriterleri incelendiğinde, uygun gecikme uzunluğunun belirlenmesinde kullanılan LR, FPE, AIC, SC ve HQ bilgi kriterlerinin sonuçları dikkate alınmıştır. Elde edilen bulgulara göre ikinci gecikme düzeyinin birçok bilgi kriteri tarafından en uygun model olarak belirlendiği görülmektedir. Nitekim 2 gecikme düzeyinde AIC (8.796985), SC (9.796138), HQ (9.102436) ve FPE (1.371398) değerlerinin en düşük seviyede olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca LR testi de ikinci gecikme düzeyinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Belirlenen optimal gecikme uzunluğu esas alınarak oluşturulan VAR modelinin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla istikrar analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, modele ait karakteristik köklerin ters değerlerini gösteren Grafik 2'de incelenmiştir.

*Grafik 2: VAR Modeli Karakteristik Köklerinin Tersleri*



VAR modelinin istikrarlı bir yapıya sahip olabilmesi için tüm karakteristik köklerin terslerinin birim çemberin içinde bulunması gerekmektedir. Grafik 2’de kurulan modelin istikrar koşullarını sağlayıp sağlamadığını ortaya koymakta ve modelin ekonometrik analizlerde kullanılmaya uygunluğunu değerlendirmektedir. Bundan sonraki aşamada Tablo 7’de kurulan modelin istatistiksel olarak güvenilir olup olmadığını değerlendirmek için tanısal testlere yer verilmektedir.

*Tablo 7. Tanısal Sınama Test Sonuçları*

Test Türü	Gecikme (Lag)	Test İstatistiği	Olasılık (p-değeri)
Otokorelasyon LM Testi	1	0.8694449	0.5597
	2	1.647565	0.1356
	3	0.184213	0.9947
White Değişen Varyans Testi (Ortak Test)		73.89297	0.4161
Normallik Testi (Jarque-Bera, Ortak)		1.092486	0.7789

Tablo 7’de yer alan tanısal test sonuçları, kurulan VAR modelinin ekonometrik açıdan uygun ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Modelin geçerliliğini değerlendirmek amacıyla otokorelasyon, değişen varyans ve normallik testleri uygulanmıştır.

İlk olarak otokorelasyon sorununun varlığı VAR LM testi ile incelenmiştir. Test sonuçlarına göre 1., 2. ve 3. gecikmeler için olasılık değerleri sırasıyla 0.5597, 0.1356 ve 0.9947 olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin tamamı %5 anlamlılık düzeyinden büyük olduğundan, “otokorelasyon vardır” şeklindeki alternatif hipotez reddedilmektedir. Dolayısıyla modelin hata terimlerinde seri korelasyon problemi bulunmamaktadır. Bu durum, modelde yer alan gecikme uzunluğunun uygun seçildiğini ve modelin dinamik yapısının yeterli olduğunu göstermektedir.

Değişen varyans problemi White heteroskedastisite testi ile analiz edilmiştir. Elde edilen test istatistiği 73.89297 ve olasılık değeri 0.4161’dir. p-değerinin 0.05’ten büyük olması nedeniyle sabit varyans varsayımını reddeden bir bulguya ulaşılamamıştır. Başka bir ifadeyle modelde heteroskedastisite sorunu bulunmamaktadır. Bu sonuç, hata varyanslarının sabit olduğunu ve tahmin sonuçlarının güvenilirliğini desteklemektedir.

Modelde hata terimlerinin normal dağılıma sahip olup olmadığı ise Jarque-Bera normallik testi ile incelenmiştir. Test sonucunda olasılık değeri 0.7789 olarak elde edilmiştir. Bu değerin %5 anlamlılık düzeyinden büyük olması

nedeniyle hata terimlerinin normal dağıldığı yönündeki sıfır hipotezi kabul edilmektedir. Böylece modelin normallik varsayımını sağladığı anlaşılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, uygulanan tanısal testler doğrultusunda modelde otokorelasyon ve değişen varyans problemlerinin bulunmadığı, ayrıca hata terimlerinin normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgular, kurulan VAR modelinin ekonometrik açıdan istikrarlı, güvenilir ve analiz için uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Böylece modelin istikrar koşulunu sağlamanın ardından değişkenler arasındaki uzun dönem ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Johansen eşbütünleşme testi uygulanmıştır.

Johansen eşbütünleşme testi, değişkenler arasında uzun dönemli ilişkinin varlığını incelemek amacıyla kullanılan ve iki temel istatistiğe dayanan bir yöntemdir. Bu testte İz (Trace) istatistiği, sistemdeki toplam eşbütünleşme vektörü sayısını belirlerken; Maksimum Özdeğer (Max-Eigenvalue) istatistiği ise ardışık eşbütünleşme ilişkilerinin varlığını sınamaktadır (Johansen, 1988: 231–233; Enders, 2015: 358–360; Kazanasmaz, 2023: 256).

$H_0: r = 0 \rightarrow$  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 8. Johansen Eşbütünleşme Testi Sonuçları*

Hipotez	Özdeğer	İz İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık	Maks-Özdeğer İstatistiği	0.05 Kritik Değer	Olasılık
$r = 0$	0.536959	33.77	29.79	0.0165	21.01	20.13	0.0710
$r \leq 1$	0.406191	13.75	15.49	0.0900	14.26	14.26	0.0646
$r \leq 2$	0.007711	0.201	3.84	0.6537	0.841	3.84	0.6537

Tablo 8'e göre Johansen eşbütünleşme testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişkinin varlığına işaret eden bulgular elde edilmiştir.

$r = 0$  hipotezine ilişkin sonuçlar incelendiğinde, İz (Trace) istatistiği 33.77 olup %5 anlamlılık düzeyindeki 29.79 kritik değerini aşmakta ve olasılık değeri 0.0165 ile 0.05'in altında kalmaktadır. Bu durum, "eşbütünleşme yoktur" şeklindeki boş hipotezin reddedildiğini ve değişkenler arasında en az bir eşbütünleşme ilişkisinin bulunduğunu göstermektedir. Maksimum Özdeğer (Max-Eigen) istatistiği ise 21.01 olarak hesaplanmış ve 20.13 kritik değerini aşmasına rağmen olasılık değerinin 0.0710 olması nedeniyle %5

düzeyinde güçlü bir anlamlılık sunmamakta, ancak %10 düzeyinde zayıf da olsa eşbütünlüşme ilişkisini desteklemektedir.

$r \leq 1$  hipotezinde  $\hat{I}$ z istatistiği (13.75 < 15.49) kritik değerin altında kaldığı için boş hipotez reddedilememektedir. Maksimum Özdeğer istatistiği ise 14.26 ile kritik değere eşit seviyede olup, olasılık değeri 0.0646 ile %5 düzeyinde anlamlı değildir. Bu sonuçlar ikinci bir eşbütünlüşme vektörünün varlığına güçlü bir kanıt sunmamaktadır.

$r \leq 2$  hipotezinde ise hem  $\hat{I}$ z istatistiği (0.201 < 3.84) hem de Maksimum Özdeğer istatistiği (0.841 < 3.84) kritik değerlerin oldukça altında kalmış ve yüksek p-değerleri (0.6537) nedeniyle sıfır hipotezi reddedilememiştir. Bu durum, sistemde üçüncü bir eşbütünlüşme ilişkisinin bulunmadığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, modelde yer alan değişkenler arasında en az bir eşbütünlüşme ilişkisi bulunduğu ancak ikinci bir ilişkinin varlığına dair bulguların zayıf olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettiğini ve aralarında denge ilişkisi bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, karbon emisyonları ve Ar-ge harcamalarında meydana gelen değişimlerin uzun vadede istihdam oranı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

*Tablo 9. Eşbütünlüşme (Uzun Dönem) Denklemi*

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği
LNARGEH(-1)	9.2420	(1.81718)	[-5.08597]
CO2G(-1)	-47582.04	(9.00235)	[5.285551]
C	-2.702425		

Uzun dönem denklemi aşağıdaki gibidir:

$$EMPLY_t = 9.2420(LNARGEH)_{t-1} - 4.7582(CO2G)_{t-1} - 2.702425$$

Tablo 9'da yer alan eşbütünlüşme (uzun dönem) denklemi sonuçları, istihdam oranı (EMPLY), Ar-Ge harcamaları [LN(ARGEH)] ve karbon emisyonları (CO2G) arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Katsayıların t-istatistikleri incelendiğinde, hem LNARGEH hem de CO2G değişkenlerinin mutlak t-istatistik değerlerinin 1,96'nın üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu değişkenlerin %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Ar-Ge harcamalarının katsayısı 92420.96 olarak elde edilmiştir. Bu bulgu, Ar-Ge harcamalarındaki artışın uzun dönemde istihdam üzerinde pozitif bir

etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, teknoloji geliştirme, yenilik faaliyetleri ve araştırma-geliştirme yatırımlarındaki artışlar uzun vadede istihdamı desteklemektedir.

Karbon emisyonlarının katsayısı ise -47582.04 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, karbon emisyonlarındaki artışın uzun dönemde istihdam üzerinde negatif bir etki yarattığını göstermektedir. Karbon yoğun üretim yapısının sürdürülebilir istihdam üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceği ve çevresel maliyetlerin işgücü piyasasını etkileyebileceği söylenebilir.

Tablo 10'da yer alan VECM (Hata Düzeltme Modeli) sonuçları, değişkenler arasındaki kısa dönem dinamikleri ile uzun dönem dengeye dönüş mekanizmasını ortaya koymaktadır. Hata düzeltme teriminin (ECT) istatistiksel olarak anlamlı ve negatif işaretli olması, ilgili değişkenin uzun dönem denge ilişkisinden meydana gelen sapmaları zaman içerisinde düzelterek yeniden dengeye yaklaştığını göstermektedir.

*Tablo 10. Kısa Dönem Sonuçları (Hata Düzeltme Modeli) (VECM)*

Bağımlı Değişken	ECM (-1)	t-istatistiği	Sonuç
$\Delta$ EMPLY	-0.157304	-2.55215	Anlamlı
$\Delta$ CO2G	-7.78306	-0.86221	Anlamsız
$\Delta$ LNARGE	-9.28306	3.37468	Anlamlı

Kısa dönem denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\Delta$$
EMPLY<sub>t</sub> = -0.157304ECM<sub>t-1</sub> - 7.78306 $\Delta$ CO2G<sub>t-1</sub> -9.28306 $\Delta$ LNARGE<sub>t-1</sub> +  $\epsilon$ t

$\Delta$ EMPLY denklemi incelendiğinde hata düzeltme katsayısının negatif (-0.157304) ve t-istatistiğinin mutlak değer olarak 1.96'nın üzerinde (-2.55215) olduğu görülmektedir. Bu sonuç, %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Buna göre sistemde meydana gelen kısa dönemli bir dengesizliğin yaklaşık %15,7'si bir sonraki dönemde giderilmekte ve istihdam değişkeni uzun dönem denge düzeyine doğru yakınsamaktadır.

$\Delta$ CO2G denkleminde ise hata düzeltme katsayısının t-istatistiği (-0.86221), kritik değerinin altında kalmaktadır. Bu nedenle hata düzeltme terimi istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla karbon emisyonlarının kısa dönemde uzun dönem denge ilişkisinden kaynaklanan sapmalara uyum sağladığını gösteren bir bulgu elde edilememiştir.

$\Delta$ LNARGEH için hata düzeltme katsayısı -9.28306 ve t-istatistiği 3.37468'dir. t-değerinin mutlak olarak yüksek olması, katsayısının istatistiksel

olarak anlamlı olduğunu ve uzun dönem denge ilişkisine geri dönüş mekanizmasının çalıştığını gösterir. Katsayının negatif olması, sistemin uzun dönem dengesinden sapmaları düzeltici yönde hareket ettiğini ifade eder. Yüksek katsayı değeri ise Ar-Ge harcamalarında dengeye uyumun güçlü ve hızlı olduğunu göstermektedir.

## 5.Sonuç

Bu çalışma, Türkiye’de ikiz dönüşüm perspektifi çerçevesinde karbon emisyonları ve Ar-Ge harcamalarının istihdam üzerindeki etkilerini 1990–2024 dönemi yıllık verileri kullanarak zaman serisi ekonometrik yöntemlerle incelemeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, ikiz dönüşümün hem yeşil dönüşüm hem de dijital dönüşüm boyutlarının istihdam dinamikleri üzerinde uzun dönemli ve yapısal etkiler taşıdığını ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçları, istihdam, karbon emisyonları ve Ar-Ge harcamaları arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme ilişkisinin varlığını göstermektedir. Bu durum, değişkenlerin uzun vadede birlikte hareket ettiğini ve sistemin ortak bir denge etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Kısa dönem dinamikler ise uyum sürecinin zaman aldığı, başlangıçta dalgalanmalar görülse de hata düzeltme mekanizması sayesinde sistemin uzun dönem dengesine yöneldiğini göstermektedir. Uzun dönem katsayılar, Ar-Ge harcamalarının istihdamı artırdığını, karbon emisyonlarının ise istihdamı azalttığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, teknoloji ve yenilik kapasitesinin istihdamı desteklediğini, karbon yoğun üretim yapısının ise olumsuz etki yarattığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular, literatürde dijitalleşme ve Ar-Ge’nin istihdam üzerindeki etkilerine ilişkin tartışmalarla büyük ölçüde uyumludur. Nitekim Aydın (2018), Bulut ve Yenipazarlı (2020) ile Doğaner (2022) çalışmalarında teknoloji ve Ar-Ge’nin istihdam üzerindeki etkisinin koşullu ve sektörel farklılıklar içerdiği vurgulanırken, bu çalışmada da Ar-Ge’nin uzun dönemde istihdamı artırıcı etkisi ortaya konulmuştur. Bununla birlikte Bayar ve Öztürk (2021), Şahinoğlu ve Varıcı (2019) ile Yankın (2019) gibi çalışmalar teknoloji ve dijitalleşmenin istihdam üzerinde negatif etkiler oluşturabileceğini belirtmekte, bu durum literatürdeki karma yapıyı göstermektedir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, dijital dönüşümün istihdam üzerindeki etkisinin tek yönlü değil; teknoloji düzeyi, sektör yapısı ve uyum kapasitesine bağlı olarak değiştiğini ortaya koyan Yeşiltaş ve Artar (2021) ile Doğru ve Meçik (2018) çalışmalarını da destekler niteliktedir.

Literatürle karşılaştırmalı olarak elde edilen bulgular, yeşil dönüşümün istihdam üzerindeki olumlu etkisine ilişkin genel kabulü büyük ölçüde desteklemektedir. Ancak bu çerçevede içerisinde karbon emisyonlarına ilişkin

bulgular, yapısal bir tamamlayıcı ve aynı zamanda uyarıcı nitelik taşımaktadır. Karbon emisyonlarının istihdam üzerindeki negatif etkisi, karbon yoğun üretim yapılarının işgücü piyasası üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Bu bulgu, yeşil dönüşüm literatüründe yer alan çalışmalarla kısmen farklılaşmakla birlikte önemli bir yapısal uyarı niteliği taşımaktadır. Nitekim Satır Reyhan ve Duygu (2015), Günaydın (2015), Görmüş (2016), Vural ve Ülgen (2024) ile Nalinci (2023) gibi çalışmalar yeşil ekonomi ve yeşil dönüşümün istihdamı artırıcı etkilerine vurgu yaparken, bu çalışmada karbon yoğunluğunun istihdamı azaltıcı yönü daha net ve uzun dönemli bir etki olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum, yeşil dönüşümün istihdam üzerindeki etkisinin sektör yapısı ve üretim teknolojisine bağlı olarak değişebileceğini gösteren Ağpak ve Özçiçek (2018) ile Erden Özsoy (2021) çalışmalarındaki “karma etki” bulgularıyla da uyumludur.

Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, ikiz dönüşüm perspektifinde değerlendirildiğinde, yeşil dönüşümün yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda istihdamın niteliği ve sürekliliği açısından da kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Karbon emisyonlarının uzun dönemde istihdam üzerinde negatif etki yaratması, çevresel açıdan sürdürülebilir olmayan üretim yapılarının işgücü piyasasını zayıflatabileceğine işaret etmektedir. Bu durum, karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikaların yalnızca çevresel fayda sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda daha sürdürülebilir ve nitelikli istihdam yapısının oluşumuna da katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Öte yandan Ar-Ge harcamalarının istihdam üzerindeki pozitif etkisi, dijital dönüşüm ve teknolojik yeniliklerin işgücü piyasasını desteklediğini göstermekte; böylece yeşil ve dijital dönüşümün birlikte ele alındığı ikiz dönüşüm yaklaşımının istihdam açısından tamamlayıcı bir etki üretebileceğini ortaya koymaktadır.

Politika açısından değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular Türkiye’de istihdamın sürdürülebilir biçimde artırılabilmesi için Ar-Ge yatırımlarının güçlendirilmesi, yenilik kapasitesinin artırılması ve düşük karbonlu üretim yapısına geçişin hızlandırılması gerektiğine işaret etmektedir. Ayrıca ikiz dönüşüm sürecinin sosyal boyutunun göz ardı edilmemesi, iş gücü piyasasında ortaya çıkabilecek uyum maliyetlerini azaltmak için beceri dönüşüm programlarının ve yaşam boyu öğrenme politikalarının desteklenmesi önem taşımaktadır.

## Kaynakça

- Ağpak, F. ve Özçelik, Ö. (2018). Bir İstihdam Politikası Aracı Olarak Yenilenebilir Enerji. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(2), 112-128.
- Aydın, E. (2018). Türkiye’de Teknolojik İlerleme ile İstihdam Yapısındaki Değişme Projeksiyonu: Endüstri 4.0 Bağlamında Ampirik Analiz. Yönetim Bilimleri Dergisi, 16 (31), 461-471.
- Aydın, Eray (2023); “Kurumsal Yönetim ve Yeşil Dönüşüm”, Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Alanında Gelişmeler – 1,
- Azazi, H. ve Uzma, O. (2022). Türkiye’de Yeşil Ekonomi, Yeşil İşler ve Yeşil İstihdam. Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(2), 93-100.
- Başol, O. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Yeşil İşlerin Gelişimine İlişkin Bir Değerlendirme. Finans Politik & Ekonomik Yorumlar, 55 (636), 71-87.
- Bayar, H.T. & Öztürk, M. (2021). Teknolojinin İstihdam Üzerine Etkisi:VAR Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 26(2), 119-127.
- Baykan, B. G. (2009)”Dünyada ve Türkiye’de Yeşil Yakalılar”, BETAM, İstanbul.
- Bayraktar, M. & Uysal, Ö. (2019). Türkiye’de Ar-Ge Yatırımlarının ve Nüfusun İstihdam Üzerindeki Etkisi. Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Ek Sayı , 23-42 .
- Bowen, A. (2012). ‘Green’ Growth, ‘Green’ Jobs and Labour Markets. Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 88, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, Working Paper No. 76.
- Bulut, E. & Yenipazarlı, A. (2020). Endüstri 4.0 ve Teknolojinin İstihdam Üzerindeki Etkisi, Panel Veri Analizi. Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies , 7(2), 15-35
- CEDEFOP (2009) “ILO Green Jobs Initiative and ImplicationsforSkills Development”, P. P. Christine
- CEDEFOP. (2009). Future Skills Needs for the Green Economy. Research Paper, Luxembourg:
- Publications Office of the European Union. [https://www.cedefop.europa.eu/files/5501\\_en.pdf](https://www.cedefop.europa.eu/files/5501_en.pdf)
- Düzel,İ. (2025). Sürdürülebilir Kalkınma Yeşil Ekonomi Stratejileri ve Uygulamaları. Journal of Economic Research Foundation, 2(1), 59-76.
- Evans-Klock (eds),Future Skill Needs for theGreenEconomy, Publications Office of theEuropeanUnion, Luxembourg, 8-17.
- CEDEFOP (2010) “SkillsforGreenJobsEuropeanSynthesis Report”, Publications Office of theEuropeanUnion, Luxembourg.

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012) "İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023", Ankara.
- Deschenes, O. (2013) "GreenJobs", IZA Policy Paper No. 62, Bonn.
- Doksanyedi, D., & Meçik, O. (2024). Yeşil Ekonomi ve İstihdam İlişkisi: Türkiye Üzerine Bir Ekonometrik Analiz. İzmir İktisat Dergisi ,39 (3). Doi: 10.24988/ije.1465528
- Çağıl G., Türkmen, S. ve Çakır, Ö. (2013). Enerji ve Makroekonomik Değişkenler Arasındaki İlişki: Türkiye Açısından Bir Uygulama. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 161-174.
- Çetin, M. (2012). Sabit Sermaye Yatırımları ve Ekonomik Büyüme: Ampirik Bir Analiz. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 7 (1), 211-230.
- Çetin, S. (2022). İstihdam Üzerine Teorik ve Ampirik Çalışmalar. Araştırma Geliştirme Harcamalarının
- İstihdam Üzerine Etkisi: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler için Bir Karşılaştırma. 1. Basım. Nobel Yayın
- Çil, N. (2018). Finansal Ekonometri. İstanbul. Der Yayınları.
- Doğaner, A. (2022). The Effect of R&D Expenditures and Number of Patents on Employment in Türkiye: An Evaluation with the ARDL Analysis, 351-365.
- Doğru, B. N., ve Meçik, O. (2018). Türkiye’de endüstri 4.0’ın işgücü piyasasına etkileri: firma beklentileri. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23, 1581-1606
- Efendioğlu, Ü. D. (2013) "Sürdürülebilir Kalkınma Yolunda Yeşil İşler", Gelişen İnsan Kaynakları Kariyer Yönetimi.
- Erden Özsoy, C. (2016). Yeşil İşler ve İstihdam Olanakları Üzerine Bir Tartışma. Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(1), 51-59.
- Erden Özsoy C, Tosunoğlu B T. (2023) Jobs and Skills of the Future: A Window of Opportunity for Economic Development in Türkiye, Journal of Economics and Administrative Sciences 24(3): 403-416, 2023
- Gerşil, G. ve Kalfaoğlu, S. (2018). Türkiye’de Yeşil İstihdam ve iş gücü Piyasalarına Yansımaları. IV. International Caucasus-Central Asia Foreign Trade And Logistics Congress.
- Görmüş A. (2016). Yeşil Ekonomiye Geçiş Düzgün İşler İçin Yeni Fırsatlar Yaratıyor Mu? İngiltere Örneği. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 30(5), 1081-1093.
- Görmüş, A. (2019). Yeşil ekonominin istihdam üzerindeki yansımaları ve yeşil işler: Cinsiyet temelli bir modelleme ile İngiliz işgücü anketinden bulgular. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 76, 29-66. <https://doi.org/10.26650/jspc.2019.76.0001>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2012). Temel ekonometri (Ü. Şenesen & G. G. Şenesen, Çev.; 5. bs.). Literatür Yayıncılık.

- Günaydın, D. (2015). Yeşil İşler ve İş Gücü Piyasasına Etkileri. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* - Cilt:13 Sayı:3 (Eylül 2015) - Doi: <http://dx.doi.org/10.11611/JMER707503>
- Herczeg, B., Pintér, É., & Bagó, P. (2023). How green and digital transformation shapes industries: Twin transition to a green and digital future. *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 54(5), doi: 10.14267.
- Husain, S.- Sohag, K. ve Wu, Y; (2022). The response of green energy and technology investment to climate policy uncertainty: An application of twin transitions strategy, *Technology in Society*, 71 (6). <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102132>
- ILO (2011) “Assessing Green Jobs Potential in Developing Countries: A Practitioner’s Guide”, International Labour Office , Geneva.
- ILO (2013) “Sustainable Development, Decent WorkandGreenJobs”, International Labour Conference, 102nd Session, Geneva.
- ILO ve OECD (2012) “Sustainable Development, Green Growth and Quality Employment: Realizing the Potential forMutuallyReinforcingPolicies”, Paris.
- ILO. (2015). Yeşil Ekonomide İnsana Yakışır İşler. Türkiye’den İyi Örnekler Vaka Çalışması. Ankara.
- Erişim adresi <https://www.ilo.org/tr/publications/yesil-ekonomide-insana-yakisir-isler-turkiyeden-iyi-ornekler-vaka-calismasi>.
- 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).
- Kalkınma Bakanlığı, Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma ve Yeşil Ekonomi Alanında En İyi Uygulamalar Başvuru ve Seçim Süreci, [http://www.tr.undp.org/content/dam/turkey/docs/news-from-new-horizons/UNDP-TRRio20\\_En\\_ iyi\\_uygulamalar\\_basvuru\\_rehberi\\_SON.pdf](http://www.tr.undp.org/content/dam/turkey/docs/news-from-new-horizons/UNDP-TRRio20_En_ iyi_uygulamalar_basvuru_rehberi_SON.pdf)
- Kazanasmaz, E., Demirel, B. L. , Karatepe, S. & Hızarcı, A. E. (2023). Ekonomik Büyüme, Elektrik Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi: Türkiye Örneği . *Muhasebe ve Finans İncelemeleri Dergisi*, 6(2), 248 – 265. DOI: 10.32951/mufider.1356297
- Küçük, Ö. (2021). Emegın dijital dönüşümü ve istihdam. *International Journal of Human Studies*, 4(8).
- Martinez, F. C., Hinojosa, C. ve Miranda, G. (2010) “GreenJobsandSkills:TheLocalLabour Market Implications of AddressingClimateChange”, Working Document, FE/LEED,OECD.
- Muro, M., Rothwel , J. ve Saha, D. (2011) “SizingtheCleanEconomy:ANationalandRegional GreenJobsAssessment”,TheBrookingsInstitution,| MetropolitanPolicy Program.

- Nalinci, S. “Yeşil Ekonomi ve Yeşil İşler”. *ulakbilge*, 87 (2023 Ağustos): s. 729–737. doi: 10.7816/ulakbilge-11-87-03
- OECD (2012) “Enabling Local Green Growth Addressing Climate Change Effects on Employment and Local Development”, OECD Publishing.
- OECD ve Cedefop. (2014) “Greener Skills and Jobs”, Green Growth Studies, OECD Publishing.
- Özsoy, C. (2011). Yeşil ekonominin dinamikleri: Yeşil işler ve beceriler. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*, 48(562), 19–32.
- Özsoy, C. (2013) “Yeşil Yakalı Çalışanlar”, *Gelişen İnsan Kaynakları Kariyer Gündemi*.
- Özsoy, F ve Özpolat, A. (2020). Yenilenebilir Enerji ve İstihdam İlişkisi: Bootstrap Granger Nedensellik Analizi. *Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi*, 4(2), 263-280. <http://dergipark.org.tr/ueip>
- Rehman, S. U., Giordino, Zhang, D.Q. ve Alam, G. M.; Twin transitions & industry 4.0: Unpacking the relationship between digital and green factors to determine green competitive advantage. *Technology in Society*, 2023.
- Satır Reyhan, A. ve Ergin, D. (2015). Çevre Politikalarında Yeni Bir Yaklaşım: Yeşil İşler ve Yeşil İstihdam, *Memleket Siyaset Yönetim (MSY)*, 10(23), 21-39.
- Sevüktekin, M. ve Nargeleçekenler, M. (2010). *Ekonometrik Zaman Serileri Analizi*. Ankara: Nobel Yayınları.
- Şahinoğlu, T. ve Varıcı, M. Teknolojik Gelişmenin İstihdam Üzerindeki Etkileri: Türkiye Örneği. *Turkish Studies - Information Technologies and Applied Sciences*, 14(4). 617-640.
- Tarı, R. (2015). *Ekonometri*. Kocaeli. Umuttepe Yayınları. 11. Baskı.
- Tarı, R. ve Yıldırım, D.Ç. (2009). Döviz Kuru Belirsizliğinin İhracata Etkisi: Türkiye İçin Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*.
- Tiryakioğlu, M. (2021). Türkiye’de Yeşil İşlerin Politik Ekonomisi. *Journal of Yasar University*, 16(62)
- Topcu, E. (2021). Teknolojik Gelişmenin İstihdam Üzerindeki Etkisi: Türkiye Ekonomisi Üzerine Sektörel Bir Analiz. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 11(2), 481-491.
- UNDP (2008) “Green Jobs: Towards Decent Work in a Sustainable, Low-Carbon World”, Publishing Services Section United Nations Office, Nairobi.
- Upadhyay, H. and Pahuja, N. (2010). *Low-Carbon Employment Potential in India: A Climate of Opportunities*. Centre for Global Climate Research TERI and Global Climate Framework Discussion Paper. New Delhi: TERI/GCN – 2010:1.
- Vural, G. ve Ülge, G. (2025). Yeşil Dönüşümün İşgücü Piyasası Üzerindeki Etkisi. *Journal of Economic Research Foundation*, 2(2), 146-159.

- Yankın, F. B. (2019). Dijital dönüşüm sürecinde çalışma yaşamı. Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi, 7(2), 1-38.
- Yeşil, Y. ve Fidan, F. (2017). Çevresel İstihdam Bağlamında Yeşil İşlerde Eğitim ve Beceri Kazandırma. International Journal of Social Sciences and Education Research, 3(2), 608-618. <http://dergipark.gov.tr/ijsser>
- Yeşiltaş, C. ve Artar, O. (2021). Ekonomideki Dijital Dönüşüm ve İstihdam Üzerindeki Etkisi. Working Paper Series, 2(1). 43-52. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4592985>
- Yılmaz, S. A. (2014) “Yeşil İşler ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Alanındaki Potansiyeli”, Kalkınma Bakanlığı, Yayın No 2827.16 (2), 97-105.
- World Bank Group. (2026). <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&country=TUR>

