

processes

IMPACT
FACTOR
2.8

CITESCORE
5.1

Madde

Editörün Seçimi

Üretim Firmalarında Yapay Zeka ve Karbon Emisyonları: Yeşil İnovasyonun Düzenleyici Rolü

Yixuan Chen ve Shanyue Jin

Başlık

Yeşil Operasyonu ve Sürdürülebilir Çevreyi Teşvik Etmek İçin Yapay Zeka ve Nesnelerin İnterneti

Düzenleyen

Dr. Chia-Huei Wu ve Prof. Dr. Wei Liu



<https://doi.org/10.3390/pr11092705>



Madde

Üretim Firmalarında Yapay Zeka ve Karbon Emisyonları: Yeşil İnovasyonun Düzenleyici Rolü

Yixuan Chen ve Shanyue Jin *

İşletme Fakültesi, Gachon Üniversitesi, Seongnam 13120, Kore Cumhuriyeti

* Yazışma: jsyrena0923@gachon.ac.kr

Soyut:Karbon emisyonları endüstriyel çağda dünya çapında ilgi görmüştür. Önemli bir karbon emisyonu yapan sektör olarak, üretim sektöründe net sıfır karbon emisyonuna ulaşmak, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için hayati önem taşımaktadır. Akıllı teknolojilerin yükselişi, karbon azaltımına yardımcı olabilecek endüstriyel yapısal dönüşümleri yönlendirmiştir. Yapay zeka (AI) teknolojisi, işletmelerin düşük karbonlu gelişimi için yeni teknolojik araçlar ve yönler sağlayarak dijitalleşmenin önemli bir parçasıdır. Bu çalışma, 2012'den 2021'e kadar üretim sektöründeki Çinli A hisseli şirketleri araştırma nesnesi olarak seçmiş ve AI ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi incelemek için sabit etkili bir regresyon modeli kullanmıştır. Bu çalışma, karbon emisyonu azaltımını gerçekleştirmede kurumsal AI teknolojisi uygulamalarının önemini açıklığa kavuşturmakta ve düzenleyici mekanizmayı inovasyon etkisi perspektifinden incelemektedir. Sonuçlar, kurumsal AI teknolojisinin uygulanmasının karbon emisyonu azaltımını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Aynı zamanda, yeşil teknolojik inovasyon, yeşil yönetim inovasyonu ve yeşil ürün inovasyonu düzenleyici roller oynamaktadır; başka bir deyişle, kurumsal yeşil inovasyon, AI'nın karbon emisyonu azaltımı üzerindeki etkisini güçlendirmektedir. Bu çalışma akıllı üretimin gerekliliğini açıklığa kavuşturmakta ve yapay zeka teknolojisi ve karbon emisyonlarına ilişkin teorileri zenginleştirmektedir.

Anahtar kelimeler:yapay zeka; karbon emisyonları; yeşil teknoloji inovasyonu; yeşil yönetim inovasyonu; yeşil ürün inovasyonu



Alıntı:Chen, Y.; Jin, S. Üretim

Firmalarında Yapay Zeka ve Karbon Emisyonları:

Yeşil İnovasyonun Moderatör Rolü. İşlemler **2023**, *11*, 2705. <https://doi.org/10.3390/pr11092705>

Akademik Editörler: Wei Liu ve Chia-Huei Wu

Alındı: 18 Ağustos 2023

Gözden geçirildi: 7 Eylül 2023

Kabul edildi: 8 Eylül 2023

Yayımlandı: 10 Eylül 2023



Telif Hakkı:© 2023 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale, Creative Commons Atıf (CC BY) lisansının (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir.

1. Giriş

Sanayi Devrimi'nden bu yana, küresel ısınmanın neden olduğu zarar dikkat çekmiştir ve ülkeler küresel ısınmayı azaltmak ve sürdürülebilir kalkınmayı sürdürmek için politikalar uygulamaya koymuştur. Enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonları iklim değişikliğinin başlıca nedenidir; bu nedenle, karbon emisyonlarını azaltmak çevresel bozulmayı tersine çevirmenin anahtarı haline gelmiştir. Sera gazı (GHG) emisyonları, özellikle gelişmekte olan ve yükselen ülkelerde ekonomik büyümeye eşlik eder [1]. Bu nedenle, gelişmekte olan ülkelerde iklim değişikliğini ele alan girişimler, karbon emisyonlarının azaltılması için hayati öneme sahiptir. En büyük gelişmekte olan ülke olarak Çin, dünyanın CO₂'sinin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır.2 emisyonların yaklaşık %90'ı fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Paris Anlaşması'nın gerekliliklerini karşılamak için Çin, 2030 yılına kadar karbon zirvesine ve 2060 yılına kadar karbon nötrlüğüne ulaşma sözü vermiş ve düşük karbonlu kalkınmayı vurgulamıştır [2]. Bu karbon azaltma hedefine ulaşmada, geleneksel endüstriyel değişimlere ve akıllı dönüşümlere rehberlik etmeye odaklanılmaktadır.

Bilimsel ve teknolojik gelişme, endüstriyel yükseltmelere, ekonomik dönüşümlere ve enerji yeniden yapılanmasına yol açabilir. Sanayi Devrimi ekonomik büyümeyi teşvik etti, ancak geleneksel ekonomik gelişme aynı zamanda aşırı enerji tüketimine ve emisyonlara yol açtı ve bu da çevre kirliliğine neden oldu. Karbon emisyonları, endüstriyel gelişmedeki makro-çevresel kusurlardır. Akıllı teknolojinin ortaya çıkışı, geleneksel ekonomik büyümede son teknoloji müdahalelere yol açtı [3] insan hayatını ve işini daha verimli hale getiren ve pratik etkileri azaltan

Çevre üzerindeki faaliyetler [4]. Yapay Zeka (YZ), makine öğrenimi, dil tanıma, görüntü tanıma, doğal dil işleme vb. gibi farklı alanlardan oluşan teorileri, yöntemleri, teknolojileri ve uygulama sistemlerini içeren yapay zeka bilimi için kullanılan kolektif bir terimdir ve insan zekasının bir simülasyonu ve uzantısıdır [5]. İşletmelerin üretim ve faaliyetleri sırasında tükettiği enerji karbon emisyonlarına neden olur ve tedarik zincirinin her bir proses adımında emisyon yoğunluğu artar [6]. Yapay zeka, teknolojik inovasyon, üretim ve işletme ve hatta sosyal yaşamda büyük değişikliklere yol açan ve teknolojik ve endüstriyel dönüşümlerin itici gücü olan 21. yüzyılın en önemli üç teknolojisinden biridir [7]. "Made in China 2025" planı, "akıllı üretim" yaratmak için yeni nesil bilgi teknolojisinin üretim sektörüne derinlemesine entegre edilmesini vurgulamaktadır. Bu nedenle, AI teknolojisi üretim sektörüyle yakından ilişkilidir. Bu çalışma, üretim sektöründeki yapay zeka teknolojilerine odaklanmakta ve üretim şirketleri tarafından AI teknolojisinin kullanım düzeyini incelemektedir.

Önceki çalışmalar akıllı üretimin düşük karbon ekonomisini ele almış ve yapay zeka teknolojisinin geliştirilmesinin karbon yoğunluğunu azaltabileceğini doğrulamıştır [8–10]. Bu nedenle, yapay zeka ekonomik büyümeyi sağlama ve çevresel baskıyı hafifletme gibi ikili bir amaca hizmet edebilir ve karbon nötrlüğüne ve karbon azaltımına ulaşmak için önemli bir araçtır [11]. Birçok alanda, AI endüstriyel yapıları optimize ederek, bilgi tesislerini güçlendirerek ve yeşil yenilikleri iyileştirerek karbon emisyonlarını azaltabilir. Örneğin, elektrik enerjisi endüstrisinde, AI teknolojisi karbon ve elektrik bağlantısını koordine edebilir [12]. Tıbbi sektörde, AI süreçleri optimize ederek ve bakım modellerini iyileştirerek karbon emisyonlarını azaltabilir [13]. Sanayi, Çin'in toplam enerji talebinin yaklaşık %70'ini oluşturan en büyük enerji tüketen sektördür ve düşük karbonlu iyileştirmeler sürdürülebilirliği sağlamak için kritik öneme sahiptir [14]. Yapay zeka teknolojisinin kullanımı enerji verimliliğini artırabilir ve kaynak israfını azaltabilir, böylece düşük karbonlu kalkınma gerçekleştirilebilir [15]. Ayrıca, yapay zeka teknolojileri, karbon emisyonlarını azaltarak geleneksel tedarik zincirlerinin yeşil tedarik zincirlerine geçişi için daha fazla fırsat sağlıyor [16]. Ancak, bilim insanlarının bu konu hakkında karışık görüşleri var. Birincisi, yapay zekanın ilerlemesi enerji maliyetlerinde bir düşüşe yol açtı ve şirketleri kaynak çıkarma, üretim ve tüketimini genişletmeye yöneltti, bu da enerji tüketimini kötüleştirdi ve bir "geri tepme etkisi" yarattı [17]. İkinci olarak, akıllı dönüşüm süreci yeterince istikrarlı olmadığından, ek veri yönetimi desteğine ihtiyaç duyulur ve bu da artan enerji tüketimine ve karbon emisyonlarına yol açar [18].

Bu nedenle, 2012'den 2021'e kadar Çin'in A hisse senedi piyasasında listelenen 1938 üretim şirketini seçerek üretim şirketleri tarafından yapay zekanın kullanımının karbon emisyonlarını azaltıp azaltamayacağını inceledik. Ek olarak, önceki çalışmalar üretim endüstrisinin akıllı dönüşümü ile karbon emisyonlarının azaltılması arasında bir inovasyon etkisi bulmuştur. Hassas emisyonlar, kirlilik kontrolü ve maliyet azaltma, işletmeler tarafından yapılan yeşil inovasyonun odak noktasıdır [19]. Ekolojik modernizasyon teorisine göre, çevresel inovasyon kalkınma için bir dayanak noktasıdır ve "ekonomik ekolojizasyon" ve "ekolojik ekonomizasyon" çevre dostu kalkınmayı başarmanın etkili yollarıdır. Önceki araştırmaların bulgularıyla birlikte, yeşil inovasyon yapay zeka ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi güçlendirebilir [20,21]. Bu makalede, yeşil inovasyonun teknoloji, yönetim ve ürünler açısından düzenlenmesi ve etki mekanizmaları ele alınmaktadır.

Bu çalışmanın katkıları şu şekildedir. Birincisi, şehirlerde veya bölgelerde AI ile karbon performansı arasındaki ilişkiye dair mevcut literatürün zenginliği varken, mikro perspektiften yapılan çalışmalar nispeten azdır. Bu çalışma, şirketlere odaklanarak, imalat endüstrisinde AI'nın gelişim düzeyi ile karbon performansı arasındaki ilişkiyi doğrulamak için ampirik bir analiz yürütmüştür. Sonuçlar ilgili literatürü zenginleştirecek ve işletmelerin sürdürülebilir düşük karbonlu kalkınmaya ulaşmalarına yardımcı olacaktır. İkincisi, inovasyon etkisini göz önünde bulundurarak ve inovasyonu etki mekanizması olarak kullanarak, bu çalışma kurumsal AI düzeyi ile karbon arasındaki düzenleme mekanizmasını incelemiştir.

Yeşil teknolojik inovasyon, yeşil yönetim inovasyonu ve yeşil ürün inovasyonunun emisyonlarını azaltarak ilgili teorilerin geliştirilmesine temel oluşturmaktadır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm2teorik arka planı sunar ve araştırma soruları ile ilgili hipotezleri analiz eder ve formüle eder. Bölüm3metodolojiyi kapsar. Bölüm4ampirik analizi sunar. Bölüm5Çalışmanın sonuçlarını, ortaya çıkanları, sınırlılıkları ve geleceğe yönelik perspektifleri tartışmaktadır.

2. Teorik Arka Plan ve Hipotezler

2.1. Kurumsal Yapay Zeka Teknolojisinin Karbon Emisyonları Üzerindeki Etkisi

Son yıllarda dünya dijital dönüşümlerde bir patlama yaşadı ve akıllı teknolojilerin rahatlığı ve pratikliği çevresel baskıları azalttı. Araştırmalar yapay zekanın yeşil ekonomik kalkınma için bir motor olduğunu buldu [22]. Yüksek kaliteli kalkınma teorisine dayanarak, yüksek enerji tüketen ve yüksek kirlüten endüstrilerin düşük karbon dönüşümünü teşvik etmek, yeşil ve düşük karbonlu bir ekonomiyi gerçekleştirmenin anahtarıdır. Ortaya çıkan bir teknoloji olan AI, çok yönlülük ve geçirgenlik özelliklerine sahiptir ve teknolojik devrimleri ve endüstriyel değişimi farklı bakış açılarından teşvik edebilir. AI'nın ortaya çıkışı, sürdürülebilir kalkınmaya ışık tutarak işletmelerin en düşük maliyetle maksimum fayda elde etmesini sağlamıştır.

Eko-modernizasyon teorisi, sürdürülebilirliği iyileştirmek için kaynak verimliliğinin artırılmasıyla çevre sorunlarının iyileştirilebileceğini ileri sürmektedir [23]. İlk olarak, yapay zekadaki teknolojik ilerlemeler üretim sürecini optimize edebilir, bu da fosil yakıtların ve diğer enerji kaynaklarının tüketimini azaltır, kaynakları korur ve yeşil üretime olanak tanır. Kirlilik, kaynakların yetersiz kullanımının bir tezahürüdür [24]. Yapay zeka teknolojisi, enerji verimliliğini artırarak karbon emisyon yoğunluğunu azaltmak için üretim endüstrisinde kullanılır. Aynı zamanda, akıllı dönüşüm, zaman ve mekan açısından geleneksel endüstrilerin kısıtlamalarını ortadan kaldırır; işgücü, sermaye ve kaynakların verimli bir şekilde yeniden düzenlenmesine ve rasyonel tahsisine katkıda bulunur [25]; iş dönüşümlerini mümkün kılar [26]; endüstriyel yapının rasyonalizasyonunu ve yapısal iyileştirmeyi yönlendirir; ve karbon nötrlüğünün gerçekleştirilmesine elverişlidir. İkincisi, dijital bir araç olarak AI teknolojisi, hem sınıflandırma hem de tahmin açısından düşük karbonlu gelişimin gerçekleştirilmesine yardımcı olabilir. Sınıflandırma perspektifinden, AI uygulama araçlarının farklı alt tipleri operasyonel verimliliği ve süreç modellerini iyileştirebilir. Örneğin, AI'nın veri madenciliği yeteneği enerji talebinin hassas bir şekilde yönetilmesine olanak tanır ve makine öğrenimi süreci iyileştirebilir ve enerji maliyetlerini azaltmak için üretim zincirini optimize edebilir [27]. Tahmin açısından, AI teknolojisi karbon monoksit ve karbondioksit emisyonlarını tahmin etmek için teknik izleme gerçekleştirebilir; karbon emisyonlarıyla ilgili verilerin tespit edilmesine, toplanmasına ve düzenlenmesine yardımcı olabilir; ve dolaylı olarak karbon emisyonlarının azaltılmasını teşvik edebilir [28]. Son olarak, AI, insan zekası gerektiren görevler için sistemler geliştirebilir. İşletmeler tarafından AI teknolojisinin kullanımı, tedarik zinciri operasyonlarını iyileştirebilir [29], çevresel süreçlerin yukarı ve aşağı akış işletmelerinde entegrasyonunu sağlamak, yeşil bir tedarik zinciri oluşturmak [30,31], pazar yapısını optimize edin, enerji tasarrufu yapın ve emisyonları azaltın. Bu nedenle, bu makale AI teknolojisinin endüstriyel dönüşüm, kaynak entegrasyonu, veri izleme vb. konularda benzersiz bir rol oynadığını ve karbon emisyonlarını azaltmanın önemli bir yolu olduğunu savunuyor. Bu nedenle, aşağıdaki hipotez önerilmiştir:

Hipotez 1 (H1):Üretim firmalarındaki endüstriyel yapay zeka düzeyi firmaların karbon yoğunluğunu azaltıyor.

2.2. Yeşil Teknolojik Yeniliğin Moderatör Rolü

Eko-modernizasyon teorisi, teknolojik yeniliğe ve bunun teknolojik ilerlemenin yönünü nasıl değiştirebileceğine odaklanır. Erken araştırmalarda, yeşil teknolojik yenilik sürdürülebilir kalkınma için yeni bir temel olarak kabul edildi [32], yeni ve yenilenebilir kaynaklarda teknolojik inovasyona odaklanarak. Artan inovasyon seviyeleri

Yeşil teknolojiler, çevre korumayı sağlama ve işletmelerin ekonomik büyümesine ve sürdürülebilir kalkınmasına katkıda bulunma amacıyla iklim değişikliğinin hafifletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır [33]. Yeşil teknolojik yenilik, çevrenin korunmasına odaklanır ve ekonomi, teknoloji ve ekolojinin koordineli gelişimini hedefler [34]. Yapay zeka teknolojilerine dayalı, akıllı, yeşil ve düşük karbonlu bir üretim sistemi, teknolojik yeniliğin taşıyıcısı olabilir [35]. Teknolojik inovasyon, Birleşmiş Milletler İklim Konferansı'nın (COP24) üç ana temasından biridir ve yeşil teknolojik inovasyon, üretim yöntemlerini yeşil üretime dönüştürmenin anahtarıdır [36].

Teknolojik ilerleme ve ekonomik yapıdaki değişikliklerin karbon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olduğu bulunmuştur [37]. Teknolojik yenilik, dijitalleşme ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi yumuşatıyor [38]. Du ve diğerleri. [39] teknolojik ilerlemenin düşük karbon üretkenliğini iyileştirmenin ana itici gücü olduğunu savundu. İşletme inovasyon yeteneğindeki iyileştirmeler, işletme yeşil gelişiminin gerçekleştirilmesini teşvik eden teknolojik ilerlemeyi ima eder [40]. Li ve diğerleri. [41] işletmeler tarafından yeşil teknolojik inovasyonun geliştirilmesinin daha yüksek öğrenme yeteneği ve yaratıcılığa sahip olmayı gerektirdiğini, bunun da işletme AI teknolojisinin uygulanmasını teşvik ettiğini, işletmelerin yeşil rekabet avantajını artırdığını ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesine yardımcı olduğunu savundu. Yeşil teknolojik inovasyon dinamik bir yetenektir; emisyon azaltma, enerji verimliliği ve AI ile karbon emisyonları arasındaki ilişkiyi güçlendirebilen yenilenebilir enerji teknolojilerinin bir kombinasyonudur. Ayrıca, işletmeler tarafından yeşil teknolojik inovasyonun geliştirilmesi daha fazla yeşil ve teknik yeteneği çekebilir [42], yetenek ve kaynakların bütünleşmesini gerçekleştirmek, yapay zeka teknolojisi aracılığıyla insan sermayesi verimliliğinin iyileştirilmesini teşvik etmek, zekanın gelişimini yönlendirmek ve yeşil kalkınmayı teşvik etmek [43]. Bu nedenle, yukarıdaki analize dayanarak, aşağıdaki hipotez önerilmiştir:

Hipotez 2 (H2): Üretim işletmelerinin yeşil teknoloji inovasyon kapasitesi, kurumsal yapay zeka düzeyinin karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki engelleyici etkisini güçlendirmektedir.

2.3. Yeşil Yönetim İnovasyonunun Moderatör Rolü

Yeşil yönetim inovasyonu, bu çalışmada tanımlanan yeşil ve yönetim inovasyonunun birleşiminin bir yan ürünüdür ve bir işletme içinde çevreyi korumaya yönelik yeni yönetim önlemleri olarak tanımlar veya uygulanır [44]. Performans açığı teorisine göre, bir işletmenin gerçek çevresel performansı ile çevresel performansı arasında bir boşluk olduğunda, işletme düşük karbonlu kalkınmayı gerçekleştirmek için çevre yönetimi yenilikleri sunarak bu boşluğu azaltmalıdır [45]. Bu nedenle, işletmeler yeşil yeteneklerini geliştirmek istiyorlarsa, yeşil yönetim yeniliklerini uygulamalı ve çevresel baskıları hafifletmek için insan, iş ve teknolojik kaynakların geliştirilmesine ve kullanımına odaklanmalıdırlar [46].

Yönetim inovasyonu açısından bakıldığında, yeşil yönetim firmalar için rekabet avantajının temel itici gücüdür [47] ve verimliliği, rekabet gücünü ve üretkenliği artırabilir. Bu nedenle, yeşil yönetime katılmak ve çevre dostu girişimleri uygulamak, firmaları daha verimli olan, üretim atıklarını azaltan ve üretkenliği artıran AI tekniklerini kullanmaya zorlar. Yeşil inovasyon perspektifinden, bu uygulamayı önemseyen firmaların doğal çevre ile olumlu bir ilişkisi vardır. Viviana Fernandez [48] yüksek kaliteli yeşil yönetim inovasyonunun firmaların işgücü verimliliğine katkıda bulunduğunu ve yeşil kalkınmaya katılma olasılıklarını artırdığını ileri sürmüştür. Şirketler, çevre yönetimi girişimlerini benimseyerek, kendilerinin ve yönetimlerinin yeşil bir ekonomi geliştirmeye kararlı olduklarını dış dünyayla paylaşabilir, böylece sosyal imajlarını iyileştirebilir ve yeşil üretimi mümkün kılabilir [49]. Aynı zamanda daha yenilikçi çalışanları da cezbediyor [50], işletmelerin akıllı dönüşümü için güçlü bir garanti sağlar ve üretim işletmelerinde AI kullanımının karbon emisyonları üzerindeki etkisini güçlendirir. Bu nedenle, işletmeler

yeşil yönetim inovasyonu, teknolojik değişimi vurgular ve karbon emisyonlarını azaltmak için yapay zekayı kullanırlar. Yukarıdaki analize dayanarak, aşağıdaki hipotez önerilmiştir:

Hipotez 3 (H3):Üretim işletmelerinin yeşil yönetim inovasyon kapasitesi, kurumsal yapay zeka düzeyinin karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki engelleyici etkisini güçlendiriyor.

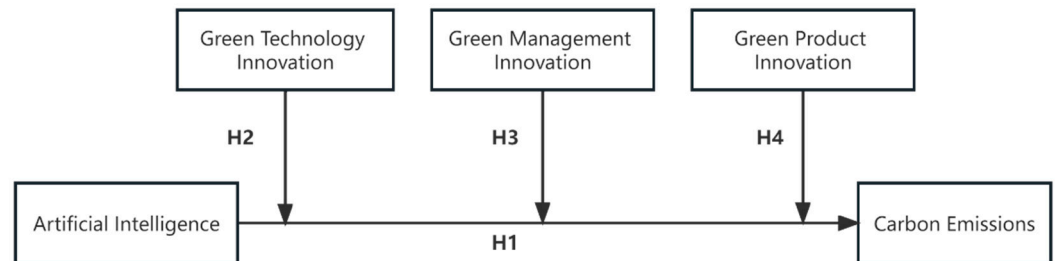
2.4. Yeşil Ürün İnovasyonunun Düzenleyici Etkisi

Örgütsel öğrenme teorisine göre, çevre kirliliği ve enerji israfının yarattığı baskılar nedeniyle, işletmelerin yüksek çevresel riskler karşısında yenilik yapmaları gerekmektedir [51]. Önceki çalışmalar üretim sürecinde yeşil teknolojik inovasyona odaklanmıştı ve yeşil ürün inovasyonu düşük karbonlu bir ekonominin geliştirilmesi için önemlidir. Yeşil ürün inovasyonu, üretim şirketlerinin iş ortamında yeşil rekabet gücünü sürdürmesi için hayati öneme sahip olmuştur [52]. Literatüre göre yeşil ürün inovasyonu, enerji verimliliğini artırırken çevreye verilen zararı azaltmak; enerji tasarrufu sağlayan, çevre dostu veya geri dönüştürülebilir malzemeler kullanmak; yeni ürünler tasarlamak ve geliştirmek; veya mevcut ürünleri iyileştirmek olarak tanımlanmaktadır [53].

Yeşil inovasyonun bir alt alanı olarak yeşil ürün inovasyonu, yenilikçi bilgi, kaynak ve teknolojilerin bütünleştirilmesini içerir. Bu nedenle, yeşil ürün inovasyonu, işletmelerin yeni teknolojiler geliştirmek, yeni ürünler araştırmak ve eko-performans elde etmek için yapay zeka teknolojilerinin kullanımını teşvik etmek için yeterli bilgi rezervlerine ve kaynaklara sahip olduğu anlamına gelir [54]. Paydaş teorisine göre, çağdaş toplumun çevre konusundaki endişeleri nedeniyle müşteriler ve tedarik zincirlerinin yukarı ve aşağı akışları yeşil tüketim ve yeşil ürünler için daha fazla gereklilik ortaya koyacaktır [55]. Bu nedenle, işletmelerin ürün geliştirme sürecinde yeşil ürün inovasyonunun uygulanması, ürünlerinin çevresel performansını iyileştirmeli ve bu da onları ürünlerinin çevresel kalitesini iyileştirmek için yapay zeka teknolojilerinden yararlanmaya yöneltilmelidir [56]. Yenilik, ilerleme ve gelişmeyi içerir. Yeşil ürün yeniliğini vurgulayan ve yapay zeka teknolojilerini kullanan işletmeler, yeni ürünler geliştirirken atıkları azaltabilir, maliyetleri düşürebilir ve çevre dostu olmalarını geliştirebilirler [57], böylece karbon emisyon yoğunluklarını azaltır. Bu nedenle, yeşil ürün inovasyonu, karbon emisyonlarını azaltmak için işletmelerde AI teknolojisinin geliştirilmesini teşvik edebilir. Yukarıdaki analize dayanarak, aşağıdaki hipotez önerilmiştir:

Hipotez 4 (H4):Üretim firmalarının yeşil ürün inovasyon kabiliyeti, firmaların yapay zeka düzeyinin karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki engelleyici etkisini güçlendirmektedir.

Figür1 Bu çalışmada kullanılan modeli göstermektedir.



Şekil 1.Çalışma modeli.

3. Metodoloji

3.1. Örnek Seçimi ve Veri Kaynakları

2012'de Sera Gazı Gönüllü Emisyon Azaltma Ticareti Yönetimi için Geçici Tedbirlerin yayınlanması, Çin'in gönüllü emisyon azaltma pazarı inşasının başlangıcını işaret etti. Veri bulunabilirliği gibi faktörleri göz önünde bulundurarak, bu çalışma 2012'den 2021'e kadar Çin A hisse senedinde listelenen şirketleri araştırma olarak seçti

nesneler ve 9547 araştırma örneği elde edildi. Bunların arasında, kurumsal patentlerle ilgili veriler Çin Araştırma Veri Hizmet Platformu (CNRDS) veritabanından, yeşil yönetim inovasyonu ile ilgili veriler Çin Borsası ve Muhasebe Araştırması (CSMAR) veritabanından ve diğer veriler Rüzgar Ekonomi Veritabanı'ndan (WIND), halka açık şirketlerin web sitelerindeki bilgilerden, çevre sektöründeki web sitelerinden ve halka açık şirketlerin sosyal sorumluluğu ve yıllık raporlarından geldi. Diğer faktörlerin müdahalesini azaltmak ve verilerin makul ve doğru olmasını sağlamak için, bu çalışma aşağıdaki işlemleri benimsedi: (1) ST (iki ardışık mali yıl boyunca zarar eden halka açık şirketleri ifade eden özel işlem), *ST (üç ardışık mali yıl boyunca zarar eden ve borsadan çıkma uyarıları alan halka açık şirketleri ifade eden özel işlem), PT (herhangi bir işlemin durdurulması ve borsadan çıkmanın beklenmesi anlamına gelen özel transfer) ve borsadan çıkan şirketleri hariç tutarak. (2) Aşırı değerlerin etkisini ortadan kaldırmak için, bu çalışma tüm sürekli değişkenleri %1 ve %99 seviyelerinde düzeltti. (3) Heteroskedastisitenin etkisini ortadan kaldırmak için ana sürekli değişkenler logaritmikleştirildi. (4) Kovaryans sorununu önlemek için bu çalışmada etkileşim terimlerinde yer alan sürekli değişkenler merkeze alındı.

3.2. Değişkenlerin Tanımları

3.2.1. Bağımlı Değişken

Karbon emisyon yoğunluğu, işletmelerin karbon performansını ölçmek için kullanılan geleneksel bir göstergedir ve fosil enerji yanması, karbon monoksit ve karbondioksit emisyonlarını üreten ana faktördür [58,59]. Ping ve diğerlerinin araştırmasına atıfta bulunularak ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nden alınan verilere göre, bu makale toplam karbon emisyonlarının esas olarak fosil yakıtlar tarafından üretilen doğrudan ve dolaylı karbon emisyonlarını ve üretim sürecinden kaynaklanan karbon emisyonlarını içerdiğini ileri sürmektedir [60] ve toplama dayalı doğal logaritmayı alır. Karbon emisyon yoğunluğunu hesaplama formülü aşağıdaki gibidir:

$$GI = CEE + CPE + CWD + CLT,$$

GI, listelenen şirketlerin toplam karbon emisyonları, CEE yanma ve kaçış emisyonları, CPE üretim süreci emisyonları, CWD atık emisyonları ve CLT arazi kullanım dönüşümünden (örneğin ormanların endüstriyel araziye dönüştürülmesi) kaynaklanan emisyonlardır. Karbon emisyonu hesaplama sürecinde kullanılan veriler, listelenen şirketlerin yıllık raporlarından, sosyal sorumluluk raporlarından, çevre departmanlarının web sitelerinden ve Çin Ulusal İstatistik Bürosu tarafından yayınlanan çeşitli istatistik yıllıklarından alınmıştır.

3.2.2. Bağımsız Değişken

Yapay zeka, tasarım, üretim, yönetim, hizmet ve diğer üretim faaliyetlerinde çeşitli tezahürlerle çalışan yeni nesil bir bilgi teknolojisiye dayanmaktadır. Bilim insanları, yapay zeka değişkenlerini ölçmek için sıklıkla akademik yapay zeka çalışmalarının sayısını ve endüstriyel robotların sayısını veya nüfus oranını kullanmışlardır [61–63]. Ancak robotik, AI uygulamalarının yalnızca bir parçasıdır; bu nedenle daha kapsamlı ölçümler yapılmalıdır. İnternetin gelişmesi ve ilgili literatürün genişlemesiyle birlikte, metin analizi ve makine öğrenimi ekonomik araştırmalarda giderek önemli yöntemler haline gelmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada, listelenen şirketlerin yıllık raporlarının metin içeriğini analiz etmek, AI ile ilgili anahtar kelimeleri çıkarmak ve kelime sıklığını belirleyerek işletmelerin bir AI endeksini elde etmek için Python'da bir AI kelime listesi oluşturmak için bir metin madenciliği yöntemi kullanan Li ve diğerlerine başvurduk [64]. Masa1AI anahtar kelimelerinin içeriğidir.

Tablo 1.Yapay zeka anahtar kelimeleri.

Yapay Zeka	Yapay Zeka, İş Zekası, Görüntü Anlama, Yatırım Karar Yardımcıları, Akıllı Veri Analitiği, Akıllı Robotik, Makine Öğrenmesi, Derin Analiz, Anlamsal Arama, Biyometrik, Yüz Tanıma, Ses Tanıma, Kimlik Doğrulama, Otomatik Sürüş, Doğal Dil İşleme
------------	--

3.2.3. Yeşil Teknolojik Yenilik Değişkenlerini Düzenleme

Akademisyenler yeşil teknolojik yeniliği, çevresel hasarı azaltan veya ekolojik sürdürülebilirliği destekleyen teknolojiye yenilik olarak tanımlıyor [65]. Yeşil teknolojik yenilik, yeşil yeniliğin çekirdeğini oluşturur ve işletmelerin çevre koruma ve ekonomik performans iyileştirme gibi ikili hedefleri gerçekleştirmesinin bir yoludur. Patent başvurusundan yetkilendirmeye kadar geçen süreyi göz önünde bulundurarak, önceki araştırmalara dayanarak, bu çalışmada işletmelerdeki yeşil teknolojik yenilik düzeyinin bir ölçüsü olarak yeşil buluş patent başvurularının toplam buluş patent başvurularına oranı kullanılmıştır [66–68]. İşletmelere ait cari yıl patent verileri CNRDS'den elde edilmiştir.

Yeşil Yönetim İnovasyonu

Yeşil yönetim inovasyonunun uygulanması, yeni ve geliştirilmiş çevre yönetim modellerinin veya önlemlerinin benimsenmesini gerektirir [69]. Literatür, işletmelerin çevre yönetim sistemleri (EMS) aracılığıyla çevre yönetim önlemlerini başarıyla uyguladığını ve entegre ettiğini göstermektedir [70]. Bu nedenle, bu çalışma Zhang ve diğerlerine atıfta bulunmuş ve yeşil yönetim inovasyonunu ölçmek için ISO 14001 sertifikasını kullanmıştır [71]. Bir firma ISO 14001 sertifikalı olduğunda ve yeşil yönetim inovasyonuna ulaştığı düşünüldüğünde 1 olarak kaydedilen ve aksi takdirde 0 olarak kaydedilen bir kukla değişken formu kullanıldı. Firmaların EMS sertifikalarına ilişkin veriler CSMAR veritabanından elde edildi.

Yeşil Ürün İnovasyonu

Yeşil ürün inovasyonu, şirketlerin rekabet gücünü korumasının anahtarıdır, çünkü çevre kirliliğini kaynağında kontrol edebilir ve çevre koruma standartlarını karşılamalarına yardımcı olabilir. Üretim şirketleri, çevre performanslarını iyileştirmek için yeşil ürünler geliştirir. Yeşil ürün inovasyonunun ölçümü hala standartlaştırılmamıştır. Lee ve diğerleri [72] uzun vadeli bir perspektiften inovasyon sonuçlarını inceledi ve yeşil ürün inovasyon sonuçlarının Ar-Ge ile yakından ilişkili olduğu sonucuna vardı. Ar-Ge harcamaları, bir firmanın ürün araştırma ve geliştirme eğilimini temsil eder ve yüksek kaliteli yenilikçi ürünler ve hizmetler sunma yeteneğini yansıtır [73]. Bu nedenle, bu çalışma Ivanka Visnjic ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmaya atıfta bulunmuş ve işletmelerde yeşil ürün inovasyonunun seviyesini ölçmek için bir Ar-Ge yoğunluğu göstergesi benimsemiştir [74]. İlgili veriler CSMAR veri tabanından ve halka açık şirketlerin yıllık raporlarından elde edilmiştir.

3.2.4. Kontrol Değişkenleri

Diğer olası faktörlerin etkilerini azaltmak için bu çalışmada Wu ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmaya atıfta bulunuldu ve aşağıdaki yedi kontrol değişkeni seçildi [75–78]: firmanın büyüklüğü (Size), borçlanma oranı (Lev), varlıkların karlılığı (ROA), devlete ait bir işletme olup olmadığı (SOE), toplam varlık cirosu (ATO), net varlıklardan elde edilen getiri (ROE) ve firmanın yaşı (FirmAge). Ek olarak, yıllar (YEAR) kontrol edildi. Tablo2Değişkenlerin tanımlarını ve ölçümlerini sunar.

Tablo 2.Değişken tanımları ve ölçümleri.

Değişken	İsim	Sembol	Tanım
Bağımsız değişken	Yapay Zeka Teknolojisi Uygulaması	Yapay Zeka	Ln (anahtar kelime kelime sıklığı + 1)
Bağımlı değişken	Karbon Emisyon Yoğunluğu	CEI	Ln (toplam yıllık kurumsal karbon emisyonları)
Değişkenleri denetlemek	Yeşil Teknolojik Yenilik	GTI	Yeşil buluş patenti sayısı uygulamalar/toplam buluş patent başvuruları
	Yeşil Yönetim Yenilik	GMI	ISO 14001 sertifikalı mı?
	Yeşil Ürün İnovasyonu	GDI	Ar-Ge yoğunluğu: Ar-Ge yatırımı/geliri
Kontrol değişkenleri	İşletme Boyutu	Boyut	Ln (yıl sonu toplam varlıklarının defter değeri)
	Varlıkların Getirisi	ROA	Net kar/toplam varlıklar
	Özkaynak Getirisi	KARACA	Net kar/ortalama bakiye hissedarların öz sermayesi
	Varlık-borç oranı	LEV	Toplam yükümlülükler/toplam varlıklar
	Toplam Varlık Devir Hızı Oranı	ATO	varlıklar İşletme geliri/varlıklar
	Devlet İşletmesi mi Değil mi Kuruluş Yılları	Kamu iktisadi tegebbüsü FirmaYaşı	Devlet işletmesi için 1, aksi takdirde 0 Ln (cari yıl - kuruluş yılı + 1)

3.3. Araştırma Modeli

Yapay zekanın karbon emisyonları üzerindeki etkisini incelemek için (yani Hipotez 1'in geçerliliğini test etmek için) bu çalışma aşağıdaki gibi bir panel ekonometrik sabit etkili model (1) oluşturdu:

$$CEI_{BT} = \alpha_0 + \alpha_1 Yapay Zeka_{BT} + \alpha_k Kontrol_{BT} + YılT + \varepsilon_{BT} \quad (1)$$

(1) modelinde, Ben Ve Tırasıyla bireysel firmaları ve yılları temsil etmektedir; Yapay Zeka_{BT} firmanın AI seviyesini temsil eder Ben yıl içinde; CEI_{BT} firmanın karbon yoğunluğunu temsil eder Ben yıl içinde; Kontrol_{BT} her kontrol değişkenini temsil eder; α_0 sabit terimi temsil eder; ε_{BT} rastgele bozulma terimini temsil eder; ve YılT yıl üzerindeki sabit etkiyi temsil eder. Katsayı ise α_1 Modelde negatif ve anlamlı ise Hipotez 1 geçerlidir.

Kurumsal yapay zeka ile karbon emisyonları arasındaki ilişkide yeşil teknolojik inovasyonun, yeşil yönetim inovasyonunun ve yeşil ürün inovasyonunun düzenleyici rolünü daha fazla doğrulamak için (yani Hipotez 2 ile 4'ün geçerli olup olmadığını test etmek için) bu çalışma düzenleyici değişkenler ile kurumsal yapay zeka teknolojisi arasındaki etkileşim terimini temel modele ekledi ve aşağıdaki modelleri oluşturdu:

$$CEI_{BT} = \alpha_0 + \alpha_1 Yapay Zeka_{BT} + \alpha_2 GEY_{BT} + \alpha_3 Yapay Zeka_{BT} GEY_{BT} + \alpha_k Kontrol_{BT} + YılT + \varepsilon_{BT} \quad (2)$$

$$CEI_{BT} = \alpha_0 + \alpha_1 Yapay Zeka_{BT} + \alpha_2 GMI_{BT} + \alpha_3 Yapay Zeka_{BT} GMI_{BT} + \alpha_k Kontrol_{BT} + YılT + \varepsilon_{BT} \quad (3)$$

$$CEI_{BT} = \alpha_0 + \alpha_1 Yapay Zeka_{BT} + \alpha_2 GDI_{BT} + \alpha_3 Yapay Zeka_{BT} GDI_{BT} + \alpha_k Kontrol_{BT} + YılT + \varepsilon_{BT} \quad (4)$$

(2) ile (4) arasındaki modellerde, moderatör değişkenler GEY_{BT} ve etkileşim terimleri Yapay Zeka_{BT} GEY_{BT}, GMI_{BT}; Yapay Zeka_{BT} GMI_{BT}, GDI_{BT}; Ve Yapay Zeka_{BT} GDI_{BT} sırasıyla eklendi. Etkileşim teriminin katsayısı α_3 modelde negatif ve anlamlıdır, Hipotez 2 ve 4 geçerlidir. Hausman testinden sonra, P-değeri 0.0000 olduğundan sabit etkili regresyon modeli kullanılmıştır.

4. Ampirik Analiz Sonuçları

4.1. Tanımlayıcı İstatistikler ve Korelasyon Analizi

Masa 3 imalat işletmelerinin karbon emisyonlarının ortalama değerinin 11,4, minimum değerinin 8,84 ve maksimum değerinin 15,18 olduğunu göstermektedir.

Üretim endüstrisinin daha fazla karbon emisyonuna neden olduğu ve farklı işletmeler arasında karbon emisyonlarının yoğunluğunda büyük bir fark olduğu. İşletme AI teknoloji seviyesinin maksimum değeri 1, minimum değeri 0, standart sapması 0,45 ve ortalama değeri 0,18 olarak bulundu ve bu da farklı üretim işletmeleri tarafından AI kullanımının eşit olmadığını ve genel seviyenin iyileştirilmesi gerektiğini gösteriyor. Yeşil teknolojik inovasyonun minimum değeri 0, maksimum değeri 1 ve ortalama değeri 0,08 olarak bulundu ve bu da üretim işletmelerinin yeşil teknolojik inovasyona yeterince dikkat etmediğini gösteriyor. Yeşil yönetim inovasyonunun ortalama değeri 0,33 olarak bulundu ve bu da üretim şirketlerinde yeşil yönetim inovasyonunun güçlendirilmesi gerektiğini gösteriyor. Yeşil ürün inovasyonunun minimum değeri 0,13, maksimum değeri 20,33 ve ortalama değeri 4,52 olarak bulundu ve bu da farklı bireysel işletmeler arasında yeşil ürün inovasyon yeteneğinde büyük farklılıklar olduğunu gösteriyor. Ayrıca, bazı kontrol değişkenlerinin büyük standart sapmaları vardı, örneğin işletme büyüklüğünün 1,17 olması ve işletmenin kuruluş yılı sayısının 2,87 olması, örnek işletmeler arasındaki farklılıkların belirgin olduğunu gösteriyordu. Tablo3Ayrıntılı tanımlayıcı istatistikler sunar.

Tablo 3.Tanımlayıcı istatistikler.

Değişkenler	Anlam	Sd	Dakika	P50	Maksimum	N
CEI	11.40	1.34	8.84	11.24	15.18	9547
Yapay Zeka	0,18	0,45	0	0	2,71	9547
GEY	0,08	0,18	0	0	1	9547
GMI	0,33	0,47	0	0	1	9547
GDI	4.52	3.01	0,13	3.93	20.33	9547
Boyut	22.04	1.17	20.12	21.86	25.61	9547
LEV	0,37	0,18	0,06	0,36	0,77	9547
ROA	0,06	0,05	- 0,12	0,05	0,21	9547
KARACA	0,09	0,09	- 0,28	0,09	0,34	9547
ATO	0,68	0,34	0,17	0,61	2.21	9547
Kamu İktisadi Teşebbüsü	0,22	0,42	0	0	1	9547
FirmaYaşı	2,87	0,3	1.95	2,89	3.43	9547

4.2. Korelasyon Analizi

Masa4korelasyon analizlerinin sonuçlarını sunar. İki açıklayıcı değişken arasındaki korelasyon katsayıları 0,8'den azdı ve tüm değişkenler için varyans enflasyon faktörü değerleri üçten azdı, bu da çoklu doğrusallık sorunu olmadığını gösteriyordu.

Tablo 4.Korelasyon analizi.

Değişkenler	CEI	Yapay Zeka	GEY	GMI	GDI	Boyut	LEV	ROA	KARACA	ATO	Kamu İktisadi Teşebbüsü	FirmaYaşı
CEI	1											
Yapay Zeka	0,049 ***	1										
GEY	0,063 ***	0,023 **	1									
GMI	0,052 ***	0,009	- 0,002	1								
GDI	- 0,365 ***	0,170 ***	0,009	- 0,043 ***	1							
Boyut	0,915 ***	0,070 ***	0,080 ***	0,054 ***	- 0,266 ***	1						
LEV	0,562 ***	0,045 ***	0,106 ***	0,042 ***	- 0,270 ***	0,555 ***	1					
ROA	0,009	- 0,005	- 0,044 ***	- 0,002	0,027 ***	- 0,071 ***	- 0,430 ***	1				
KARACA	0,165 ***	0,016	- 0,015	0,008	- 0,047 ***	0,078 ***	- 0,194 ***	0,930 ***	1			
ATO	0,473 ***	- 0,018 *	- 0,022 **	0,052 ***	- 0,383 ***	0,188 ***	0,206 ***	0,199 ***	0,272 ***	1		
Kamu İktisadi Teşebbüsü	0,369 ***	- 0,073 ***	0,021 **	0,049 ***	- 0,199 ***	0,388 ***	0,312 ***	- 0,183 ***	- 0,120 ***	0,113 ***	1	
FirmaYaşı	0,204 ***	0,063 ***	- 0,054 ***	0,084 ***	- 0,081 ***	0,208 ***	0,124 ***	- 0,046 ***	- 0,013	0,065 ***	0,177 ***	1

Notlar: ***s <0,01, **s <0,05, *s <0.1.

4.3. Regresyon Sonuçlarının Analizi

Tablo'daki (1) (sütun 2) modelinin sonuçları5kurumsal AI kullanımının (AI) ve karbon emisyon yoğunluğunun (CEI) regresyon katsayısının -2,13 olduğunu ve bunun %5 seviyesinde önemli ölçüde negatif korelasyona sahip olduğunu ve şirketlerin AI kullanımıyla karbon emisyonlarını azaltabileceğini gösterdiğini gösterin. Bu nedenle, Hipotez 1 geçerliydi.

Tablo 5.Regresyon sonuçları.

	(1)	(2)	(3)	(4)
Değişken	CEI	CEI	CEI	CEI
Yapay Zeka	- 0,022 ** (-2.13)	- 0,023 ** (-2.23)	- 0,023 ** (-2.24)	- 0,031 *** (-2.67)
GEY		- 0,043 * (-1.67)		
AI*GEI		- 0,110 * (-1.82)		
GMI			- 0,032 *** (-3.06)	
AI*GMI			- 0,036 ** (-1,98)	
GDI				- 0,008 *** (-4.74)
AI*GDI				- 0,006 ** (-2.06)
Boyut	0,888 *** (50.26)	0,889 *** (50.35)	0,887 *** (50.21)	0,887 *** (50.64)
LEV	0,293 *** (4.79)	0,292 *** (4.79)	0,297 *** (4.87)	0,273 *** (4.49)
ROA	0,474 (1.21)	0,476 (1.21)	0,498 (1.27)	0,346 (0,90)
KARACA	0,090 (0,43)	0,087 (0,42)	0,081 (0,39)	0,109 (0,53)
ATO	1.155 *** (26.72)	1.154 *** (26.71)	1.152 *** (26.73)	1.145 *** (26.61)
Kamu İktisadi Teşebbüsü	- 0,044 (-1.18)	- 0,044 (-1.20)	- 0,041 (-1.12)	- 0,039 (-1.06)
FirmaYaşı	0,133 (1.39)	0,132 (1.38)	0,131 (1.36)	0,141 (1.49)
Devamlı	- 9.522 *** (-22.26)	- 9.527 *** (-22.31)	- 9.495 *** (-22.15)	- 9.519 *** (-22.38)
Gözlemler	9547	9547	9547	9547
Ayarlanmış R-kare	0,682	0,682	0,683	0,684
Kimlik numarası	1938	1938	1938	1938
Yıl FE (Sabit Etki)	EVET	EVET	EVET	EVET

Not: t-istatistikleri parantez içinde; ***s <0,01, **s <0,05, *s <0.1.

Tablodaki 3. Sütun5(2) modelinin regresyon testi sonuçlarını içerir, bu sonuçlar kurumsal AI kullanımı ile kurumsal karbon emisyon yoğunluğu arasındaki regresyon katsayısının %5 seviyesinde önemli ölçüde negatif korelasyonlu olduğunu gösterir. Bu arada, AI ile yeşil teknolojik inovasyon arasındaki etkileşim teriminin regresyon katsayısı - 1.82, %10 seviyesinde önemli ölçüde negatif korelasyona sahipti ve bu da üretim işletmelerinin yeşil teknolojik inovasyon kabiliyetinin kurumsal AI'nın karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki engelleyici etkisini güçlendirdiğini gösteriyordu. Bu nedenle, Hipotez 2 desteklendi.

Tablonun 4. Sütunu5kurumsal AI ile kurumsal karbon emisyonları arasındaki regresyon katsayısının -2,24 olduğunu gösterir, bu %5 seviyesinde önemli bir negatif korelasyondur. Bu arada, AI ile yeşil yönetim inovasyonu arasındaki etkileşim terimi %5 seviyesinde önemli ve negatif korelasyonlu, bu da üretim işletmelerinin yeşil yönetim inovasyon kabiliyetinin kurumsal AI'nın karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki engelleyici etkisini güçlendirdiğini göstermektedir. Bu nedenle, Hipotez 3 desteklenmiştir.

Tablo 5'in 5. sütununda gösterildiği gibi5, kurumsal AI teknolojisi kullanımı ile karbon emisyonu yoğunluğu arasındaki regresyon katsayısı -2,67 idi ve bu %1 seviyesinde önemli bir negatif korelasyon olduğunu gösteriyordu. Bu arada, AI teknolojisi arasındaki etkileşim

ve yeşil ürün inovasyonu %5 seviyesinde önemli ölçüde negatifti, bu da üretim işletmelerinin yeşil ürün inovasyon kabiliyetinin işletmelerin AI seviyesinin karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki engelleyici etkisini güçlendirdiğini gösteriyor. Bu nedenle, Hipotez 4 desteklendi.

Bu çalışmanın ampirik analizi araştırma hipotezini doğrulamaktadır. Sonuçlar, yapay zekanın ortaya çıkması ve kullanımının üretim işletmelerinin karbon emisyonlarını azaltabileceğini göstermektedir. Bunun nedeni, işletmelerin yapay zekayı kaynak tüketimini azaltmak, enerji verimliliğini artırmak, işçilik maliyetlerini düşürmek vb. için kullanabilmeleri ve ardından üretim ve operasyonun düşük karbon gelişimini gerçekleştirebilmeleri olabilir. Aynı zamanda, yeşil teknoloji inovasyonu, yeşil yönetim inovasyonu ve yeşil ürün inovasyonu düzenleyici bir rol oynamaktadır. Yeşil teknoloji inovasyonu, yapay zekanın uygulanmasını teşvik edebilen ve karbon emisyonlarını azaltabilen bir tür teknolojik ilerlemedir. Yeşil yönetim inovasyonu, işletmelerin düşük karbon ekonomisi geliştirmeleri için bir işaretir ve karar alma düzeyinde yeşil ve yüksek verimliliğin peşinde olduklarını gösterir. Yeşil ürün inovasyonu, üretim şirketleri tarafından çevre korumanın daha da uygulanmasıdır ve bu da yapay zekanın karbon emisyonu azaltımındaki rolünü güçlendirebilir.

4.4. Sağlamlık Testleri

İki Aşamalı En Küçük Kareler Testi

Bu çalışma, yapay zekanın geliştirilmesi ile imalat endüstrisinde karbon emisyonunun azaltılması arasındaki etki mekanizmasını araştırmak için sabit etkili bir regresyon kullandı. Ters nedensellik ve atlanmış değişkenler gibi sorunlar, bulguların doğruluğunu etkileyebilir. Olası içsellik sorunlarını ele almak ve yapay zeka teknolojisinde var olan zaman gecikmesi etkisini göz önünde bulundurmak için [79], bu çalışma önceki araştırmalardan yararlandı ve bir dönem gecikmeli kurumsal AI (LAI) düzeyini bir araç değişkeni olarak ve sağlamlık testi yapmak için iki aşamalı en küçük kareler (2SLS) yöntemini kullandı [64]. Masa62SLS testinin sonuçlarını sunar. 2SLS testinin ilk aşamasında, LAI'nin AI üzerindeki regresyon katsayısı 29,54'tü ve bu %1 anlamlılık düzeyinde pozitif bir korelasyona işaret ediyordu. İkinci aşamada, kurumsal AI'nin karbon emisyonları üzerindeki uygun değerinin regresyon katsayısı -1,87'ydı ve bu %10 anlamlılık düzeyinde önemli ölçüde negatifti. Ek olarak, DWH testinin sonuçları Kleibergen-Paap rk'ninLMistatistik 59.333'tü ve bu da enstrümantal değişkenlerin tanımlanabilir olduğunu gösteriyordu. Bu arada, Cragg-Donald WaldFistatistik ve Kleibergen-Paap rk WaldFistatistiksel olarak zayıf araç değişkeni testini geçen değerler sırasıyla 524.712 ve 123.726 olarak bulunmuştur.

Tablo 6.İki aşamalı en küçük kareler testi sonuçları.

Değişken	Birinci Aşama	İkinci Aşama
	Yapay Zeka	CEI
LAI	0,477 *** (29.54)	
Yapay Zeka		- 0,056 * (-1.87)
Boyut	0,158 *** (2.90)	0,872 *** (40.25)
Lev	0,385 * (1.91)	0,325 *** (4.87)
ROA	- 0,089 (-0,07)	0,409 (0,98)
KARACA	0,074 (0,12)	0,046 (0,20)
ATO	- 0,040	- 0,062 *

Tablo 6.Devamı

Değişken	Birinci Aşama	İkinci Aşama
	Yapay Zeka	CEI
	(-)0,37)	(-)1.75)
Kamu iktisadi teşebbüsü	– 0,282 **	0,233 **
	(-)2.37)	(2.13)
FirmaYaşı	– 0,377	– 0,056 *
	(-)1.08)	(-)1.87)
Yetersiz tanımlama testi		59.333
(Kleibergen-Paap rk LM istatistiği)		(Ki-kare(1)P-değer = 0,000)
Zayıf tanımlama testi (Cragg-		
Donald Wald F istatistiği)		524.712
(Kleibergen-Paap rk Wald F istatistiği)		123.726
%10 maksimum IV boyutu		16.380
Gözlemler	6828	6531
Ayarlanmış R-kare	0,518	0,605
Yıl FE	EVET	EVET

Not: t-istatistikleri parantez içinde; ***s <0,01, **s <0,05, *s <0,1.

5. Sonuçlar ve Sonuçlar

5.1. Tartışma

Son yıllarda, imalat sanayinin akıllı gelişimi dikkat odağı haline geldi. Yapay zeka, dijital ekonominin baskın bir bileşeni haline geliyor [80]. Çoğu bilim insanı, AI teknolojisinin ortaya çıkmasının, işletmelerin Nesnelerin İnterneti aracılığıyla yeşil bir tedarik zinciri oluşturmaya ve endüstrinin düşük karbon gelişimini gerçekleştirmesine yardımcı olabileceğine inanıyor. Ancak, teknolojik gelişmeler çevreye zarar verebilir [81]. Yapay zeka teknolojisi verimlilik ve kolaylık sağlayabilir, ancak kaynaklar, insan gücü, bilgi, teknoloji ve ağlar gibi farklı yönlerin entegrasyonunu ve sinerjisini de gerektirir. Bu nedenle, yapay zeka teknolojisinin üretim sektörüne getirilmesinin çevresel performans üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Örneğin, yapay zeka teknolojisi enerji verimliliğini artırabilen ve maliyetleri düşürebilen yeni araçlar sağlar. Ancak, maliyetlerdeki düşüş nedeniyle bu süreci tersine çevirebilir ve şirketleri enerji girdilerini artırmaya teşvik ederek israfa yol açabilir. Bu nedenle, akademisyenler yapay zekanın karbon emisyonlarının azaltılmasına gerçekten elverişli olup olmadığı konusunda ortak bir görüşe sahip değildir.

Bu konuyu derinlemesine incelemek için bu çalışma, kurumsal AI teknolojisinin seviyesini ve mikro düzeyde karbon emisyonu azaltımının gerçekleştirilmesini inceledi. Aynı zamanda, yeşil inovasyonun düzenleyici etkisi, teknoloji ve üretim operasyonlarında inovasyon yeteneğinin rolü dikkate alınarak doğrulandı. Bulgular, AI'nın çevre koruma için daha fazla fırsat sağladığını gösteren çoğu çalışmanın bulgularıyla tutarlıydı [82]. Yapay zeka teknolojisi, bir Ar-Ge yatırımının verimliliğini artırabilir, operasyonel maliyetleri azaltabilir ve yeşil üretimi teşvik edebilir [83]. Dijital teknolojinin bir örneği olarak, yapay zeka sistem verimliliğini artırır, süreçleri optimize eder ve kaynak israfını azaltır [84]. Bu nedenle, bu çalışma, yapay zeka teknolojisinin ortaya çıkmasının yeşil üretimde yüksek verimlilik ve güvenlik gereksinimlerini karşıladığını ve bilgi entegrasyonu, risk değerlendirmesi ve makine öğrenimi gibi yeteneklerinin işletmelerin yeşil gelişimini gerçekleştirmesine yardımcı olabileceğini savundu [85].

5.2. Sonuçlar

İklim değişikliğinin ağırlaşmasıyla birlikte, karbon emisyonlarının önemli bir kaynağı olan imalat endüstrisi önemli ilgi gördü. Bu bağlamda, bu çalışma 2012'den 2021'e kadar Çin'in A hisseli Şanghay ve Shenzhen borsalarında listelenen imalat şirketlerine ilişkin verileri seçti ve kurumsal yapay zekanın işletmelerin karbon emisyon yoğunluğu üzerindeki azaltma etkisini araştırmak için sabit etkili bir model benimsedi. Bu arada, teknolojik ilerlemenin ana akım yeşil kalkınma ile birleşmesinin yenilik taşıma etkisini göz önünde bulundurarak, bu çalışma yeşil teknolojinin düzenleyici mekanizmasını daha fazla tartıştı.

Yapay zeka teknolojisi ile karbon emisyonlarının azaltılması arasındaki ilişkide bilimsel yenilik, yeşil yönetim yeniliği ve yeşil ürün yeniliği. Bu çalışmanın sonuçları şu şekildedir: (1) Kurumsal yapay zeka düzeyi, kurumsal karbon emisyonlarının yoğunluğunu olumsuz etkiler. (2) Yeşil teknoloji, yönetim ve ürün yeniliği düzeyleri, kurumsal yapay zeka gelişiminin kurumsal karbon emisyonları üzerindeki engelleyici etkisini güçlendirir.

5.3. Sonuçlar

Yukarıdaki analize dayanarak, bu çalışma işletmelerde yapay zeka kullanımını desteklemek ve karbon emisyonlarını azaltmak için teorik ve pratik çıkarımlar sunmaktadır.

Teorik çıkarımlar şu şekildedir: Birincisi, bu çalışmadaki yapay zeka ve karbon emisyonları üzerine yapılan araştırma, düşük karbonlu kalkınma için dijitalleşmenin ve zekanın önemini daha da doğruluyor ve ilgili teorileri zenginleştiriyor. Ayrıca, iklim değişikliği tehlikelerini azaltmak için yeni bir araştırma perspektifi ve teorik temel sağlıyor. İkincisi, akıllı üretim ve karbon emisyonu azaltımı üzerine yapılan son araştırmalar, çoğunlukla ulusal, il veya bölgesel çalışmalarla makro alana odaklanmıştır. Bu çalışma, halka açık şirketleri araştırma nesneleri olarak ele almış ve yapay zeka ile karbon emisyonu azaltımı arasındaki ilişkiyi mikro bir perspektiften bireysel işletme düzeyinde inceleyerek mikro işletme araştırma alanını genişletmiştir. Son olarak, mevcut araştırma iç kontrollere odaklanmıştır. Akıllı üretimin endüstriyel iyileştirme ve karbon verimliliği üzerindeki doğrudan etkisine dayanarak, bu çalışma, kriter olarak inovasyon etkisini kullanarak, yeşil inovasyonun üç farklı yönünü düzenleyici değişkenler olarak seçerek ilgili araştırma fikirlerini genişletmiştir.

Pratik çıkarımlar şu şekildedir: Birincisi, hükümet düzeyi. Araştırma sonuçları, yapay zeka ve yeşil inovasyonun yeşil ve düşük karbonlu kalkınmayı gerçekleştirmedeki olumlu etkisini kanıtlıyor, imalat sanayiinde akıllı dönüşümün aciliyetini gösteriyor ve hükümetin endüstriyel dönüşüm ve yükseltmenin makro kontrolü için bir referans sağlıyor. Hükümet, yeni nesil teknolojilerin geliştirilmesine ve dönüştürülmesine elverişli işletmeler için yeşil bir pazar ortamı yaratmak üzere ilgili politikaları uygun şekilde tanıtmalı veya ayarlamalıdır. İkincisi, endüstri düzeyi. Bu çalışma, üretim ve operasyon verimliliğini artırmak ve çevresel performansa ulaşmak için imalat sanayinin dijitalleşmesinin ve akıllı teknolojinin önemini daha da doğruluyor; bu da imalat sanayinin düşük karbonlu kalkınması için bir yön sağlıyor. İmalat sanayi, endüstriyel yükseltmeyi gerçekleştirmek ve tüm endüstrinin sürdürülebilir kalkınmasını sürdürmek için mümkün olan en kısa sürede akıllı dönüşümü gerçekleştirmelidir. Son olarak, işletme düzeyiyle ilgili olarak, sonuçlar imalat işletmelerinin yeşil bir ekonomi geliştirmeleri ve sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmeleri için bir yön sağlayan yapay zekanın gerekliliğini göstermektedir. Aynı zamanda araştırma sonuçları, işletmelerin ekonomik faydayı hedeflerken yapay zekanın geliştirilmesi ve kullanılmasına önem vermeleri, kaynakları rasyonel bir şekilde tahsis etmeleri, enerji verimliliğini artırmaları, çevre yönetimine dikkat etmeleri ve yeşil inovasyon yeteneklerini geliştirmeleri gerektiğini, böylece düşük karbonlu kalkınmayı gerçekleştirmeleri gerektiğini göstermektedir.

5.4. Sınırlamalar ve Gelecek Beklentileri

Bu çalışmanın birkaç sınırlaması vardır. Birincisi, endüstrinin heterojenliğini veya halka açık olmayan şirketler ile KOBİ'lerin (küçük ve orta ölçekli işletmeler) uygulanabilirliğini dikkate almadan, üretim endüstrisindeki halka açık şirketleri araştırma nesnesi olarak ele aldı ve karşılaştırmalı doğrulamadan yoksundur. İkincisi, bu çalışma ayarlama mekanizmasını doğrulamak için üç yeşil inovasyon değişkeni seçti ve diğer inovasyonlar hakkında kapsamlı araştırmalardan yoksundu. Üçüncüsü, bu çalışma yalnızca işletmelerdeki AI teknolojinin seviyesini inceledi ve zekayı geliştiren diğer dijital teknolojileri dikkate almadı. Gelecekteki araştırmalar, ilgili teorileri desteklemek ve geliştirmek için yukarıdaki perspektiflerle başlayabilir.

Yazar Katkıları:Veri düzenleme ve taslak, YC; Metodoloji, inceleme ve düzenleme, SJ Tüm yazarlar makalenin yayınlanmış versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman:Bu çalışma Gachon Üniversitesi 2023 araştırma fonu (GCU-202304640001) tarafından desteklenmiştir.

Kurumsal İnceleme Kurulu Beyanı:Uygulanamaz.

Bilgilendirilmiş Onay Beyanı:Uygulanamaz.

Veri Kullanılabilirliği Beyanı:Bu makalenin sonuçlarını destekleyen ham veriler, makul talep üzerine yazarlar tarafından sağlanacaktır.

Çıkar Çatışmaları:Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Referanslar

1. Xiong, J.; Xu, D. Çin'de enerji tüketimi, ekonomik büyüme ve çevre kirliliği arasındaki ilişki.Çevre. Res.**2021**,194,110718. [[ÇaprazRef](#)]
2. Xu, G.; Dong, H.; Xu, Z.; Bhattarai, N. Çin, ekonomik kalkınma kalitesini iyileştirerek 2050 yılından önce karbon nötrlüğüne ulaşabilir. Enerji **2022**,243,123087. [[ÇaprazRef](#)]
3. Ahad, MA; Paiva, S.; Tripathi, G.; Feroz, N. Etkinleştirici teknolojiler ve sürdürülebilir akıllı şehirler.Sürdürülebilir. Şehirler Topluluğu**2020**,61, 102301. [[ÇaprazRef](#)]
4. Chatti, W.; Majeed, MT Bilgi iletişim teknolojisi (BİT), akıllı kentleşme ve çevre kalitesi: Gelişmekte olan ve gelişmiş ekonomilerden oluşan bir panelden elde edilen kanıtlar.J. Clean. Prod.**2022**,366,132925. [[ÇaprazRef](#)]
5. Zhang, C.; Lu, Y. Yapay zeka üzerine çalışma: Son durum ve gelecek beklentileri.J. Ind. Inf. Integr.**2021**,23,100224. [[ÇaprazRef](#)]
6. Waltersmann, L.; Kiemel, S.; Stuhlsatz, J.; Sauer, A.; Miehe, R. Üretim şirketlerinde kaynak verimliliğini artırmaya yönelik yapay zeka uygulamaları - Kapsamlı bir inceleme.Sürdürülebilirlik**2021**,13,6689. [[ÇaprazRef](#)]
7. Ding, T.; Li, J.; Shi, X.; Li, X.; Chen, Y. Yapay zeka karbon emisyonlarının azaltılmasıyla ilişkili midir? Çin örneği.Kaynak Politikası**2023**,85,103892. [[ÇaprazRef](#)]
8. Moshood, TD; Nawarir, G.; Mahmud, F.; Sorooshian, S.; Adeleke, AQ Yeşil ve düşük karbon konuları: Üretim endüstrisinde sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi uygulamalarının geçmişine, bugününe ve geleceğine ilişkin sistematik bir inceleme.Temiz.Müh.Tekn.**2021**,4, 100144. [[ÇaprazRef](#)]
9. Liang, S.; Yang, J.; Ding, T. Çin'de yapay zeka destekli düşük karbonlu üretim endüstrisinin performans değerlendirmesi: Etkileşimli bir ağ DEA yaklaşımı.Bilgisayar Endüstri Müh.**2022**,170,108248. [[ÇaprazRef](#)]
10. Zhang, C.; Ji, W. Dijital ikiz odaklı karbon emisyon tahmini ve akıllı üretim atölyesinin düşük karbon kontrolü. İşlem CIRP**2019**,83, 624–629. [[ÇaprazRef](#)]
11. Liu, Z.; Sun, Y.; Xing, C.; Liu, J.; He, Y.; Zhou, Y.; Zhang, G. Karbon nötrlüğüne geçiş için çoklu enerji sistemlerinde yapay zeka destekli büyük ölçekli yenilenebilir enerji entegrasyonları: Zorluklar ve gelecek perspektifleri.Enerji Yapay Zeka**2022**,10,100195. [[ÇaprazRef](#)]
12. Chen, X.; Wu, X.; Lee, KY Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve karbon yakalamanın karşılıklı faydaları: Yapay zekalı bir planlama stratejisiyle elde edildi.Enerji Dönüşümleri Yönetimi**2021**,233,113856. [[ÇaprazRef](#)]
13. Bloomfield, PS; Clutton-Brock, P.; Pencheon, E.; Magnusson, J.; Karpathakis, K. NHS'de Yapay Zeka: İklim ve Emisyonlar☆☆☆.J. Clim. Chang. Sağlık**2021**,4,100056. [[ÇaprazRef](#)]
14. Liu, L.; Yang, K.; Fujii, H.; Liu, J. Yapay zeka ve Çin'in sanayi sektöründe enerji yoğunluğu: Etki ve iletim kanalı.Ekonomi. Anal. Politika**2021**,70,276–293. [[ÇaprazRef](#)]
15. Chen, C.; Hu, Y.; Karupiah, M.; Kumar, PM Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin ekonomik değerlendirilmesinde yapay zeka.Sürdürülebilir. Enerji Teknolojisi. Değerlendir.**2021**,47,101358. [[ÇaprazRef](#)]
16. Wu, T.; Zuo, M. Makine öğrenmesine dayalı yeşil tedarik zinciri dönüşümü ve emisyon azaltımı.Bilim Prog.**2023**,106, 368504231165679. [[ÇaprazRef](#)]
17. Dauvergne, P. Yapay zeka küresel tedarik zincirlerini yeşillendiriyor mu? Çevresel maliyetlerin politik ekonomisini açığa çıkarmak.Rev. Uluslararası Siyasal Ekonomi**2022**,29,696–718. [[ÇaprazRef](#)]
18. Vinuesa, R.; Azizpour, H.; Leite, I.; Balam, M.; Dignum, V.; Domisch, S.; Feländer, A.; Langhans, SD; Tegmark, M.; Fuso Nerini, F. Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ulaşmada yapay zekanın rolü.Ulusal Topluluk.**2020**,11,233. [[ÇaprazRef](#)]
19. Gu, R.; Li, C.; Yang, Y.; Zhang, J.; Liu, K. Pekin-Tianjin-Hebei bölgesinde dijital ekonomi gelişiminin karbon emisyon yoğunluğuna etkisi: Endüstriyel yapı optimizasyonu ve yeşil inovasyona dayalı bir mekanizma analizi.Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2023**,30, 41644–41664. [[ÇaprazRef](#)]
20. Ch'ng, P.-C.; Cheah, J.; Amran, A. Eko-inovasyon uygulamaları ve sürdürülebilir iş performansı: Malezya teknoloji sektöründe piyasa türbülansının yumuşatıcı etkisi.J. Clean. Prod.**2021**,283,124556. [[ÇaprazRef](#)]
21. Del RBeno Castro, G.; GonzAlez eğreliotiuAndez, MC; Uruburu Colsa,A.Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne (SKH) doğru dijitalleşme ve sürdürülebilirlik arasındaki yakınsamanın serbest bırakılması: Bütünsel bir inceleme.J. Clean. Prod.**2021**,280,122204. [[ÇaprazRef](#)]

22. Qian, Y.; Liu, J.; Shi, L.; Forrest, JY-L.; Yang, Z. Yapay zeka yeşil ekonomik büyümeyi iyileştirebilir mi? Çin'den kanıtlar. Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2023**,*30*,16418–16437. [[ÇaprazRef](#)]
23. Zhu, Q.; Sarkis, J.; Lai, K.-H. Yeşil tedarik zinciri yönetimi inovasyon yayılımı ve organizasyonel iyileştirmeye ilişkisi: Ekolojik modernizasyon perspektifi.J.Müh.Tekn.Yön.**2012**,*29*,168–185. [[ÇaprazRef](#)]
24. Porter, M.; Van der Linde, C. Yeşil ve rekabetçi: Çıkmaza son vermek.Din. Eko-Etkili. Ekon. Çevre. Düzenli. Rekabet edin. Advan. **1995**,*33*, 120–134.
25. Chen, S.; Zhang, S.; Zeng, Q.; Ao, J.; Chen, X.; Zhang, S. Yapay zeka karbon nötrlüğüne ulaşabilir mi? Yarı doğal bir deneyden elde edilen kanıt.Ön. Ekol. Evol.**2023**,*11*,1151017. [[ÇaprazRef](#)]
26. Kulkov, I. Yapay zekanın iş dönüşümündeki rolü: İlaç şirketleri örneği.Teknoloji Sos.**2021**,*66*, 101629. [[ÇaprazRef](#)]
27. Jose, R.; Panigrahi, SK; Patil, RA; Fernando, Y.; Ramakrishna, S. Sürdürülebilir enerji yönetimi için önemli bir kolaylaştırıcı olarak yapay zeka odaklı dairesel ekonomi.Mater. Çevre. Ekon.**2020**,*2*,8. [[ÇaprazRef](#)]
28. Masood, A.; Ahmad, K. Hava kirliliği tahmini için ortaya çıkan yapay zeka (YZ) teknikleri üzerine bir inceleme: Temel bilgiler, uygulama ve performans.J. Clean. Prod.**2021**,*322*,129072. [[ÇaprazRef](#)]
29. Pournader, M.; Ghaderi, H.; Hassanzadegan, A.; Fahimnia, B. Tedarik zinciri yönetiminde yapay zeka uygulamaları. Uluslararası Üretim Ekonomisi Dergisi**2021**,*241*,108250. [[ÇaprazRef](#)]
30. Benidia, S.; Makaoui, N.; Bentahar, O. Büyük veri analitiğinin ve yapay zekanın yeşil tedarik zinciri süreç entegrasyonu ve hastane çevresel performans üzerindeki etkisi.Teknoloji. Tahmin. Sosyal Değişim.**2021**,*165*,120557. [[ÇaprazRef](#)]
31. Sumarlah, E.; Al-hakeem, B. Dijital yeniliklerin ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin COVID-19 sonrası işletmelerin rekabet performansına etkileri.Sibernetes**2023**,*52*,2568–2596. [[ÇaprazRef](#)]
32. Shi, Q.; Lai, X. Yeşil ve düşük karbonlu teknoloji inovasyon araştırmalarının temelini belirlemek: 1994'ten 2010'a kadar olan literatür taraması. Teknoloji. Tahmin. Sosyal Değişim.**2013**,*80*,839–864. [[ÇaprazRef](#)]
33. Zhang, W.; Li, G. Çevresel ademi merkeziyetçilik, çevre koruma yatırımı ve yeşil teknoloji inovasyonu. Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş. **2020**,*29*,12740–12755. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Li, D. Blockchain algoritmasına dayalı yeşil teknoloji inovasyon yolu.Sürdürülebilir. Bilgisayar. Bilgi. Sist.**2021**,*31*,100587. [[ÇaprazRef](#)]
35. Li, J.; Chen, L.; Chen, Y.; He, J. Dijital ekonomi, teknolojik yenilik ve yeşil ekonomik verimlilik—Çin'deki 277 şehirden elde edilen deneysel kanıtlar.Yönetim. Karar. Ekonomi.**2022**,*43*,616–629. [[ÇaprazRef](#)]
36. Shi, R.; Cui, Y.; Zhao, M. Üretim sektörünün çevresel performansında düşük karbonlu teknoloji inovasyonunun rolü: OECD ülkelerinden kanıtlar.Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2021**,*28*,68572–68584. [[ÇaprazRef](#)]
37. Bilal, A.; Li, X.; Zhu, N.; Sharma, R.; Jahanger, A. Yeşil teknoloji inovasyonu, küreselleşme ve CO2 emisyonları: OBOR ekonomilerinden son bilgiler.Sürdürülebilirlik**2021**,*14*,236. [[ÇaprazRef](#)]
38. Ma, Q.; Tariq, M.; Mahmood, H.; Khan, Z. Çin'de dijital ekonomi ile karbondioksit emisyonları arasındaki bağlantı: Araştırma ve geliştirmeye yapılan yatırımların düzenleyici rolü.Teknoloji Sos.**2022**,*68*,101910. [[ÇaprazRef](#)]
39. Du, K.; Li, J. Yeşil bir dünyaya doğru: Yeşil teknoloji yenilikleri toplam faktör karbon verimliliğini nasıl etkiliyor?Enerji Politikası **2019**,*131*, 240–250. [[ÇaprazRef](#)]
40. Song, M.; Peng, L.; Shang, Y.; Zhao, X. Yeşil teknoloji ilerlemesi ve kaynak temelli işletmelerin toplam faktör verimliliği: Çevre düzenlemesinin teknik telafisi perspektifi.Teknoloji. Tahmin. Sosyal Değişim.**2022**,*174*,121276. [[ÇaprazRef](#)]
41. Li, F.; Xu, X.; Li, Z.; Du, P.; Ye, J. Düşük karbonlu teknolojik yenilik gerçekten kurumsal performansı iyileştirebilir mi? Çin üretim şirketleri örneği.J. Clean. Prod.**2021**,*293*,125949. [[ÇaprazRef](#)]
42. Miao, C.-L.; Duan, M.-M.; Zuo, Y.; Wu, X.-Y. Bölgesel yeşil inovasyon verimliliğinin mekansal heterojenliği ve evrim eğilimi - Çin eyaletlerindeki endüstriyel işletmelere ait panel verilerine dayalı ampirik bir çalışma.Enerji Politikası**2021**,*156*,112370. [[ÇaprazRef](#)]
43. Huang, X.; Zhang, S.; Zhang, J.; Yang, K. Dijital ekonominin Bölgesel Yeşil Teknoloji İnovasyonu üzerindeki etkisine ilişkin araştırma: Dijital yetenek toplamanın düzenleyici etkisi.Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2023**,*30*,74409–74425. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Zhang, Y.; Xing, C.; Wang, Y. Yeşil inovasyon finansman kısıtlamalarını hafifletiyor mu? Çin'in özel girişimlerinden kanıtlar.J. Clean. Prod.**2020**,*264*,121698. [[ÇaprazRef](#)]
45. Ma, Y.; Hou, G.; Yin, Q.; Xin, B.; Pan, Y. Yeşil yönetim inovasyonunun kaynakları: İç verimlilik talebi çeker mi yoksa dış bilgi arzı iter mi?]. Clean. Prod.**2018**,*202*,582–590. [[ÇaprazRef](#)]
46. Zhang, M.; Zeng, W.; Tse, YK; Wang, Y.; Smart, P. Yeşil ürün inovasyonunun öncüllerinin ve sonuçlarının incelenmesi.Endüstriyel Marka Yönetimi**2021**,*93*,413–427. [[ÇaprazRef](#)]
47. Roberts, R. Yeniliği yönetmek: Rekabet avantajının peşinde koşmak ve yenilik yoğun ortamların tasarımı.Karar Politikası**1998**,*27*, 159–175. [[ÇaprazRef](#)]
48. Fernandez, V. Çevre yönetimi: İş performansı, yenilikçilik ve finansman açısından etkileri.Teknoloji. Tahmin. Sosyal Değişim.**2022**,*182*,121797. [[ÇaprazRef](#)]
49. Zameer, H.; Wang, Y.; Yasmeen, H. Yeşil üretim, yaratıcılık ve yeşil marka imajı yoluyla yeşil rekabet avantajının güçlendirilmesi: Çin'de daha temiz üretim için çıkarımlar.J. Clean. Prod.**2020**,*247*,119119. [[ÇaprazRef](#)]
50. Huong, PT; Cherian, J.; Hien, NT; Sial, MS; Samad, S.; Tuan, BA Çevre yönetimi, yeşil inovasyon ve sosyal-açık inovasyon.J. Açık İnovasyon Teknoloji Marka Karmaşık.**2021**,*7*,89. [[ÇaprazRef](#)]

51. Peters, K.; Buijs, P. Yeşil ürün inovasyonunda stratejik ambideksterite: Engeller ve çıkarımlar.Otobüs. Strateji. Çevre.**2022**,31, 173–193. [[ÇaprazRef](#)]
52. Fleith de Medeiros, J.; Bisognin Garlet, T.; Duarte Ribeiro, JL; Nogueira Cortimiglia, M. Çevresel açıdan sürdürülebilir ürün inovasyonu için başarı faktörleri: Güncellenmiş bir inceleme.J. Clean. Prod.**2022**,345,131039. [[ÇaprazRef](#)]
53. Khan, SJ; Dhir, A.; Parida, V.; Papa, A. Yeşil ürün inovasyonunun geçmişi, bugünü ve geleceği.Otobüs. Strateji. Çevre.**2021**,30, 4081–4106. [[ÇaprazRef](#)]
54. Hang, Y.; Sarfraz, M.; Khalid, R.; Ozturk, I.; Tariq, J. Kurumsal sosyal sorumluluk ve yeşil ürün inovasyonu örgütsel performansı artırır mı? Rekabet avantajı ve yeşil güvenin ılımlı bir arabuluculuk modeli.Ekon. Res. Ekon. İstiraivanja **2022**,35,5379–5399. [[ÇaprazRef](#)]
55. Meng, Q.; Li, M.; Liu, W.; Li, Z.; Zhang, J. Çift kanallı yeşil tedarik zincirinin fiyatlandırma politikaları: Devlet sübvansiyonları ve tüketicilerin ikili tercihleri dikkate alınarak.Sürdür. Üret. Tüket.**2021**,26,1021–1030. [[ÇaprazRef](#)]
56. Dugoua, E.; Dumas, M. Endüstriyel ağlarda yeşil ürün inovasyonu: Teorik bir model.J. Çevre Ekonomi Yönetimi**2021**,107, 102420. [[ÇaprazRef](#)]
57. Mariani, MM; Machado, I.; Nambisan, S. Yenilik türleri ve yapay zeka: Sistemik nicel literatür incelemesi ve araştırma gündemi. J. Otobüs Res.**2023**,155,113364. [[ÇaprazRef](#)]
58. Zheng, Y.; Sun, X.; Zhang, C.; Wang, D.; Mao, J. Emisyon ticareti planı karbon emisyon performansını iyileştirebilir mi? Çin'den kanıtlar.Ön. Enerji Res.**2021**,9,759572. [[ÇaprazRef](#)]
59. Goud, NN Kurumsal yönetim: Karbon emisyonu performansının yönetimi önemli midir? Hint şirketlerinin ampirik analizleri.J. Clean. Prod.**2022**,379,134485. [[ÇaprazRef](#)]
60. Wei, P.; Li, Y.; Ren, X.; Duan, K. Ham petrol fiyat belirsizliği ve kurumsal karbon emisyonları.Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2022**,29, 2385–2400. [[ÇaprazRef](#)]
61. Liu, J.; Liu, L.; Qian, Y.; Song, S. Yapay zekanın karbon yoğunluğuna etkisi: Çin'in sanayi sektöründen kanıtlar. Sosyo-Ekonomik Plan.Bil.**2022**,83,101002. [[ÇaprazRef](#)]
62. Chen, P.; Gao, J.; Ji, Z.; Liang, H.; Peng, Y. Yapay zeka uygulamaları karbon emisyon performansını etkiliyor mu? — Çin şehirlerinin panel veri analizinden elde edilen kanıtlar.Enerjiler**2022**,15,5730. [[ÇaprazRef](#)]
63. Tao, S.; Wang, Y.; Zhai, Y. Yapay zekanın endüstride uygulanması Çin'in endüstriyel karbon yoğunluğunu azaltabilir mi?Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2023**,30,79571–79586. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
64. Li, C.; Xu, Y.; Zheng, H.; Wang, Z.; Han, H.; Zeng, L. Yapay zeka, kaynak yeniden tahsisi ve kurumsal inovasyon verimliliği: Çin'in halka açık şirketlerinden kanıtlar.Kaynak Politikası**2023**,81,103324. [[ÇaprazRef](#)]
65. Zhou, F.; Wang, X. Çin'de karbon emisyon ticareti planı ve yeşil teknoloji inovasyonu: Yeni bir yapısal ekonomi perspektifi. Ekonomi. Anal. Politika**2022**,74,365–381. [[ÇaprazRef](#)]
66. Yu, P.; Hao, R.; Cai, Z.; Sun, Y.; Zhang, X. Emisyon ticareti sistemi karbon emisyonunun azaltılması ve finansal performansın iyileştirilmesinde kazan-kazan ilkesini sağlıyor mu? —Endüstriyel sektördeki Çin A hisse senedi şirketlerinden elde edilen kanıtlar.J. Clean. Prod.**2022**,333, 130121. [[ÇaprazRef](#)]
67. Li, Y.; Huang, N.; Zhao, Y. Yeşil inovasyonun kurumsal yeşil ekonomik verimliliğe etkisi.Uluslararası J. Çevre Araştırması Halk Sağlığı**2022**, 19,16464. [[ÇaprazRef](#)]
68. Xie, Z.; Lu, W.; Yu, J.; Wu, Y.; Liu, Q. Kalkınma bölgeleri ve yeşil inovasyon: Çin'de listelenen şirketlerden kanıtlar.Çin Ekonomisi Rev.**2022**,76,101874. [[ÇaprazRef](#)]
69. Wang, S.; Abbas, J.; Sial, MS;ALvarez-Otero, S.; Cioca, LI Yeşil bilgi yönetimi yoluyla yeşil inovasyon ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak: Kurumsal yeşil kültürün düzenleyici rolü.J. Innov. Knowl.**2022**,7,100272. [[ÇaprazRef](#)]
70. Papagiannakis, G.; Voudouris, I.; Lioukas, S.; Kassinis, G. Çevre yönetim sistemleri ve çevresel ürün inovasyonu: Paydaş katılımının rolü.Otobüs. Strateji. Çevre.**2019**,28,939–950. [[ÇaprazRef](#)]
71. Qi, G.; Jia, Y.; Zou, H. Kurumsal baskı yeşil inovasyonun annesi midir? Emici kapasitenin düzenleyici etkisinin incelenmesi.J. Clean. Prod.**2021**,278,123957. [[ÇaprazRef](#)]
72. Lee, K.-H.; Min, B. Eko-inovasyon için yeşil Ar-Ge ve karbon emisyonları ve şirket performansı üzerindeki etkisi.J. Clean. Prod.**2015**, 108,534–542. [[ÇaprazRef](#)]
73. Banker, RD; Mashruwala, R.; Tripathy, A. Farklılaştırma stratejisi, maliyet liderliği stratejisinden daha sürdürülebilir bir finansal performansa yol açar mı?Yönetim. Karar.**2014**,52,872–896. [[ÇaprazRef](#)]
74. Visnjic, I.; Wiengarten, F.; Neely, A. Yalnızca cesurlar: Ürün inovasyonu, hizmet iş modeli inovasyonu ve performans üzerindeki etkileri.J. Prod. Innov. Manag.**2016**,33,36–52. [[ÇaprazRef](#)]
75. Liu, J.; Qian, Y.; Yang, Y.; Yang, Z. Yapay zeka üretim şirketlerinin enerji verimliliğini artırabilir mi? Çin'den kanıtlar.Uluslararası J. Çevre Araştırması Halk Sağlığı**2022**,19,2091. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
76. Chen, Y.; Zhu, Z. Sorumluluk yapısı ve karbon emisyonlarının azaltılması: Çin imalat işletmelerinden elde edilen kanıtlar.Çevre. Kaynak. Ekonomi.**2022**,83,481–507. [[ÇaprazRef](#)]
77. Wang, J.; Li, J.; Zhang, Q. Karbon verimliliği finansal performansı iyileştiriyor mu? Çinli firmalardan kanıtlar.Enerji Ekonomisi**2021**, 104,105658. [[ÇaprazRef](#)]
78. Zhang, Y.-J.; Shi, W.; Jiang, L. Çin'in karbon emisyon ticareti politikası, ilgili işletmelerin teknoloji inovasyonunu geliştiriyor mu? Otobüs. Strateji. Çevre.**2020**,29,872–885. [[ÇaprazRef](#)]

79. Yin, K.; Cai, F.; Huang, C. Yapay zeka gelişimi Çin'de yeşil teknoloji inovasyonunu nasıl etkiliyor? Dinamik panel veri analizinden elde edilen kanıtlar.Çevre. Bilim. Kirlilik. Araş.**2023**,*30*,28066–28090. [[ÇaprazRef](#)]
80. Sharma, M.; Luthra, S.; Joshi, S.; Kumar, A. Yapay zekanın uygulama zorlukları: Ortaya çıkan bir ekonominin kamu üretim sektöründen elde edilen kanıtlar.Vali Bilgi S.**2022**,*39*,101624. [[ÇaprazRef](#)]
81. Chiarini, A. Üretim sektöründe Endüstri 4.0 teknolojileri: Hepsinin çevresel performans açısından önemli olduğundan emin miyiz?Otobüs. Strateji. Çevre.**2021**,*30*,3194–3207. [[ÇaprazRef](#)]
82. Hojageldiyev, D. Çevre koruma için yapay zeka fırsatları. SPE Gaz ve Petrol Teknolojisi Sergisi ve Konferansı Bildirileri, Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri, 21–23 Ekim 2019. [[ÇaprazRef](#)]
83. Bu, H.; Li, G.; Yu, X.; Xun, Z. Çin'de akıllı karbon emisyon azaltımı haklı mıdır? Ulusal büyük veri kapsamlı pilot bölgelerinden kanıtlar.Heliyon**2023**,*9*,e17744. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
84. Bhatti, UA; Hashmi, MZ; Sun, Y.; Masud, M.; Nizamani, MM Editöryal: Karbon emisyonlarının azaltılmasında yapay zeka uygulamaları: Sürdürülebilir çevreye doğru bir adım.Ön. Çevre. Bilim.**2023**,*11*,1183620. [[ÇaprazRef](#)]
85. Mao, S.; Wang, B.; Tang, Y.; Qian, F. Süreç endüstrisinde yeşil üretim için yapay zekanın fırsatları ve zorlukları.Mühendislik**2019**,*5*, 995–1002. [[ÇaprazRef](#)]

Yasal Uyarı/Yayıncının Notu:Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca bireysel yazar(lar) ve katkıda bulunan(lar)a aittir ve MDPI ve/veya editör(ler)e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan herhangi bir kişi veya mal yaralanmasından sorumlu değildir.