


Türkiye'nin Teknolojik Gelişiminin Ekonomik Büyüme Etkisinin Modellenmesi ve Tahminlenmesi

Mulla Veli Ablay¹ 

Ahmet Doğan² 

Türkiye'nin Teknolojik Gelişiminin Ekonomik Büyüme Etkisinin Modellenmesi ve Tahminlenmesi	Modeling and Forecasting the Impact of Türkiye's Technological Development on Economic Growth
<p>Öz</p> <p>Bu çalışma temelde, ekonomi-teknoloji ilişkisinin incelenmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda, 1996-2020 dönemine ait verilerle Türkiye'deki teknolojik yenilik ve gelişimin ekonomik büyüme etkisinin değerlendirilmesi için, gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) (bağımlı değişken) ile patent başvuru sayısı (yerleşik olan ve yerleşik olmayan) (PBS) ve bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısı (BTM) (bağımsız değişkenler) kullanılmıştır. İlgili veri seti Dünya Bankası resmi veri sitesinden elde edilmiştir. Çalışmada yöntem olarak, regresyon analizi ve Bayesyen regresyon analizi kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, teknolojik gelişim göstergelerinin ekonomik büyüme etkisinin pozitif yönlü olduğu sonucuna varılmıştır.</p>	<p>Abstract</p> <p>This study fundamentally examines the relationship between the economy and technology. In this context, the impact of technological innovation and development on economic growth in Türkiye was analyzed using data from the period 1996-2020. Gross Domestic Product (GDP) was employed as the dependent variable, while the number of patent applications (PA) and the number of articles published in scientific and technical journals (STJ) were used as independent variables. Multiple linear regression and Bayesian regression analysis were used as the methodology. According to the findings, it was concluded that the impact of technological development indicators on economic growth is positive.</p>
<p>Anahtar Kelimeler: Bayesyen Regresyon Analizi, Teknolojik Gelişim, Monte Carlo Yöntemi, Ekonomi</p>	<p>Keywords: Bayesian Regression Analysis, Technological Development, Monte Carlo Method, Economy</p>
<p>JEL Kodları: O33, O47, C11</p>	<p>JEL Codes: O33, O47, C11</p>

<p>Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı</p>	<p>Bu çalışma bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır.</p>
<p>Yazarların Makaleye Olan Katkıları</p>	<p>Yazar 1'in makaleye katkısı %50, Yazar 2'nin makaleye katkısı %50'dir.</p>
<p>Çıkar Beyanı</p>	<p>Yazarlar açısından ya da üçüncü taraflar açısından çalışmadan kaynaklı çıkar çatışması bulunmamaktadır.</p>

¹ Öğr. Gör. Dr., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Rektörlük, Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi, veliabl原因@gmail.com.

² Doç. Dr., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, ahmetdogan@osmaniye.edu.tr.

e-ISSN: 1306-6293/© 2025 The Author(s). Published by Eskişehir Osmangazi University Journal of Economics and Administrative Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Giriş

Dünya medeniyeti geliştikçe hayatın karmaşık sorunları artarak devam etmektedir (Judijanto vd., 2024). Değişen jeopolitik dinamikler ve çevresel zorluklar ortasında, hükümetler ekonomik başarıya ulaşmak için farklı yöntemler araştırmaktadır (Khan & Emon, 2024). Bu sorunlar ve sorunların aşılmasında başvurulabilecek yöntemler arasında teknolojik gelişim önemli bir yer edinmektedir (Judijanto vd., 2024). Teknolojik gelişim, devlet politikalarını, insanların yaşayış şeklini önemli ölçüde etkilemiş ve toplulukların ekonomik, kültürel, siyasal, sosyal yaşam standartlarına yön vermiştir. Farklı dönemlerde de olsa bulunduğu döneme iz bırakmış ve dönemin ekonomik ve toplumsal yapısında değişimler oluşturmuştur. Teknolojik gelişime bağlı olarak ülkeler arasındaki coğrafi ve politik engeller kalkmaktadır (Sinha & Sengupta, 2022). Herhangi bir ülkede yapılan teknolojik yenilik diğer ülkelere hızlı bir şekilde ulaşmakta ve o ülkelerde de bu yeniliğe uyum ve teknolojinin kullanımı hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu şekilde toplumlar birbirini etkilemekte ve coğrafyadan kaynaklı kültürel farklılaşma azalmaktadır. Ayrıca, devlet politikaları teknolojik gelişime paralel bir şekilde belirlenme yönünde oluşumlar göstermeye başlamıştır. Böylece teknolojiyi takip edip kendisini bu yeniliğe ve gelişmişliğe uyarlayabilen ülkelerde, teknolojik gelişim her geçen gün bilimin ışığında ilerlemekte, kendisini yenilemekte ve uyum hızını arttırarak gelişmeye devam etmektedir.

Son yıllarda teknolojik gelişim önceki yıllara oranla daha hızlı ve daha kapsamlı bir şekilde değişmekte ve yeni gelişmeler yaşanmaktadır (Doğan, 2022a). Yeni dijital teknolojilerdeki son trendler insanların, şirketlerin ve toplumun genelinde önemli bir etki yaratmaktadır (Shah vd., 2024). Bu trendler (internet, bulut bilişim, büyük veri, blok zinciri vb.) ülkelerin ekonomileri ile iç içe geçip, derinlemesine entegre olarak dünya ekonomisine yön vermektedirler (Jiao vd., 2024). Devletler ve şirketler bu hıza ulaşmak ve gelişen teknolojinin gerisinde kalmamak için devamlı kendisini yenilemeli ve değişen teknolojik duruma uyum sağlamalıdır. Teknolojik gelişim, bir ülkenin ekonomik büyümesi için gerekli altyapının oluşturulması, teknolojik gelişime destek verecek kurum ve kuruluşların desteklenmesi, dünya devletlerinde gerçekleşen ve gerçekleşmesi söz konusu olan teknolojik gelişmelerin yakından takip edilmesi ve paydaşları ile iletişim ağının güçlendirilip bilgi alışverişinde bulunulmasıyla mümkündür. Teknolojik ilerlemeye uyum sağlayabilmek için bilim ve teknoloji alanlarında yapılacak veya yapılması planlanan teknolojik yatırımları takip edebilmek, teknolojik gelişmeleri hızlandıran en önemli etkidir (Dam & Yıldız, 2016).

Teknolojik gelişmeler farklı alanda olsalar bile birbirini etkilemekte ve gelişen teknolojilerin etkisi koordineli bir şekilde birbirini tetiklemektedir. Özellikle son yıllarda bilişim ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler, teknoloji kullanımının artması ve kullanım alanının genişlemesi ile teknolojik gelişmelerin üretim araçlarına entegre edilmesi sürecinde ve bu teknolojik araçların kullanımı aşamasında nitelikli insan gücüne olan ihtiyacı artırmıştır ve aynı zamanda sosyo-teknik bir etkileşim sağlamaya başlamıştır (Doğan, 2022b). Sosyo-teknik etkileşimde teknolojinin stratejik gelişimi, insanların nesnelere, akıllı fabrikalarla, akıllı evlerle, sosyal ve iş ağlarıyla uyumunu kapsamaktadır. Ayrıca firmalar arasındaki koordinasyonlar, iş sürecindeki hizmet dağılımları, kullanılan teknolojilerin emniyet ve güvenilirliğini kapsamaktadır (Kagermann vd., 2013). Sosyo-teknik etkileşim, gelişen teknolojinin ürünlere uyarlamasında, uygulama aşamasında her kademedeki etkisini göstermektedir. Eğer bu etkileşim dikkate alınmaz ise firmalar ve çalışanlar arasında kutuplaşma, gelir adaletsizliği, çalışanların istihdam sıkıntısı, işsizlik, nitelikli iş gücü kıtlığı, ekolojik tehdit gibi nedenler kaçınılmaz olacaktır (Sony,

2020). Bundan dolayı sosyo-tekniik etkileşim sanayiye geçiş ve geliştirilme sürecinde dikkat edilmesi gereken bir yapıdır. Bu etkileşim başarılı bir şekilde uygulandığında insanların yaşam ve iş kalitesi artar, daha verimli olup yaratıcı düşünebilir. Aksi durumda teknolojik gelişime uyumdan kaynaklı sıkıntılar, verimin düşmesi, gelir dağılımında oluşan farklılaşma ve işsizlikten kaynaklı toplumsal sorunlar yaşanabilir (Küçük, 2021).

Teknoloji ve ekonomi ilişkisine baktığımızda, teknolojik yenilik ve yüksek kaliteli ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir kalkınmada vazgeçilmez bir rol oynadığı görülmektedir. Bu ilişkinin derinleşmesi, teknolojik yenilik kapasitesini artırırken, endüstriyel entegrasyon yeteneği ve pazar genişleme kabiliyeti açısından da önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar, aynı zamanda yüksek kaliteli ekonomik kalkınmayı teşvik eden temel unsurlar arasında yer almaktadır. Teknolojik yeniliklerle birlikte dijital ekonomi gelişiminin hızlandırılması, yüksek kaliteli ekonomik kalkınmanın itici gücü ve vazgeçilmez bir bileşeni olarak değerlendirilebilir (Ding vd., 2022). Özellikle de gelişmekte olan ülkelerde teknolojik gelişmelerin ekonomik refahı artırarak sürdürülebilirliğin itici bir gücü olduğu ifade edilebilir (Jabeen vd., 2024). Bu kapsamda gelişmekte olan ülkelerin bilgileri dijital olarak toplayan, depolayan, analiz eden ve dağıtan yani dijital teknolojilerin kullanımına dayalı bir ekosistem olan dijital ekonomilere yöneldiği görülmektedir (Javaid vd., 2024, Shodiev & Zarina, 2024). Dijital teknolojiler vasıtasıyla ekonomilerin dijitalleşmesi yeniliği teşvik etmekte, yeni iş fırsatları yaratmakta ve bu vesileyle verimliliğe ve üretime katkıda bulunarak ekonomik büyüme ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemektedir (Javaid vd., 2024, Liu vd., 2024). Burada gözden kaçırılmaması gereken önemli husus, politika yapıcılar tarafından optimal teknoloji stratejisinin teknolojinin gelişim hızına paralel olarak belirlenmesidir (Westphal, 2002). Çünkü etkili hükümet müdahaleleri ve sağlam kurumlar, bir ülkede sürdürülebilirliği teşvik etmek ve ekonomik ilerlemeyi sağlamak için hayati öneme sahiptir (Khan & Hassan, 2024). Buna ek olarak, verimli inovasyon politikalarının, şirketlerin gelişimi ve ülkelerin rekabet gücünün artması için pozitif koşullar oluşturduğunu da söylemek mümkündür (Dobrzanski vd., 2021).

Makalede ele alınan patent başvurularındaki ve bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makalelerdeki artış ülkelerin teknolojik gelişiminde bir trend yakalamasında oldukça önemlidir. Çünkü yapılan patent başvuruları ve bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makaleler teknolojik gelişimin ve inovasyona dayalı gelişmişlik düzeyinin göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Algan vd., 2017; Cavdar & Aydın, 2015; Zainab vd., 2018). Ayrıca ülkelerin teknolojiye gelişim kapasiteleri ve yenilikçi potansiyellerinin bu değişkenlerin de katkısıyla doğru orantılı olarak şekillendiği söylenebilir (Şeker, 2019; Cavdar & Aydın, 2015). Bir ülkenin teknoloji alanında yenilikçi olup gelişen bilim ve teknoloji ışığında kendini yenilemesi ve geliştirmesi ekonomik olarak büyümesini işaret etmektedir. Çalışmada bu ilişkinin modellenebilmesi için 1996-2020 yılları arasında Türkiye'nin teknolojik gelişiminin ekonomik büyümeye etkisinin değerlendirilmesinde, gayrisafi yurt içi hasıla (GSYİH) bağımlı değişken, patent başvuru sayısı ile bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısı ise bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir.

Literatüre bakıldığında teknolojik gelişme ve yenilik göstergelerinin ekonomik gelişime etkisi üzerine çok değişkenli istatistikî yöntemleri içeren yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Ancak çalışmada kullanılan yöntem ve değişkenleri içeren yeterli çalışmanın olmadığı literatür taraması sonucu anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, ekonomi-teknoloji ilişkisinin incelenmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda, Türkiye'nin teknolojik yeniliklere ve bilimsel araştırmalara yaptığı yatırımın ekonomik büyümeyi nasıl etkilediğini ölçmek amaçlanmıştır.

Teknolojik gelişim açısından GSYİH'nin artması, genellikle daha fazla kaynağın araştırma ve geliştirmeye, yenilikçi projelere ve teknolojik yeniliklere yönlendirildiğini göstermektedir. Türkiye'de patent başvuru sayılarının artması, yerli ve yabancı şirketlerin ülkede teknolojik gelişime önem verdiğini ve yeni buluşlar yapmaya yönelik faaliyetlerde bulunduğunu göstermektedir. Patent başvurularının artması, teknolojik yeniliklerin ticarileştirilmesi ve sanayiye entegrasyonu için önemli bir göstergedir. Türkiye açısından uluslararası bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısının artması, ülkedeki araştırma faaliyetlerinin yoğunlaştığını ve bilimsel topluluğun uluslararası arenada daha fazla kabul gördüğünü göstermektedir. Bu da teknolojik gelişim açısından olumlu bir adımdır. Bu değişkenler, Türkiye'nin teknolojik gelişimini ve potansiyelini anlamak ve ülkenin teknolojik gelişim aşamasında daha iyi noktalara gelmesi için stratejik kararlar almakta rehber niteliği taşıması açısından önemli bir araçtır. Çalışmanın ikinci bölümünde ulusal ve uluslararası çalışmaların yer aldığı literatür değerlendirmesi ile bu çalışmanın teorik önemi ortaya koyulmuştur. Üçüncü bölümde araştırmada kullanılan metodun ve modelin de tanıtıldığı veri seti, model ve metodoloji kısmı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ampirik sonuçlara yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise elde edilen bulgular değerlendirilerek sonuçlar sunulmuştur.

2. Literatür

Çok değişkenli istatistiki yöntemleri içeren teknolojik gelişme ve yenilik göstergeleri üzerine yapılan araştırmalar 1990'lı yıllardan bu yana sosyal bilimler alanında hızla artmıştır (Cavdar & Aydın, 2015). Çalışma kapsamında ulusal ve uluslararası araştırmalar incelendiğinde çalışmamızın mevcut literatürden kullanılan değişkenler ve yöntem bakımından farklılaştığı görülmektedir. Kullanılan değişkenler ve yöntem olarak iki kategorik açıdan incelenen çalışmalarda, genel olarak yurtiçi gayri safi hasıla, patent sayıları, yüksek teknoloji ürünü ihracatı, yabancı yatırım sayısı, sermaye yatırımı, kentleşme, ticari açıklık, yenilenebilir enerji tüketimi, insani gelişme endeksi, Gini endeksi, uluslararası yoksulluk sınırı, tüketici fiyat endeksi, teknik iş birliği hibelerinin sayısı, Ar-Ge'de çalışan teknisyen sayısı, tasarım ve ticari marka sayısı, patent atıf sayısı değişkenlerinin incelendiği görülmektedir. Yöntem açısından araştırmalara bakıldığında ise Gregory- Hansen, Johansen eş bütünleşme, Granger nedensellik, birim kök, Dickey Fuller, Student t, Ljung-Box Q testleri, otoregresif dağıtılmış gecikme modeli, en küçük kareler yöntemi, veri zarflama yöntemi vb. analizler kullanılmıştır. Bu kapsamda bilebildiğimiz kadarıyla, teknolojik gelişim göstergelerinin GSYİH üzerindeki etkilerini yöntemlerimiz ve değişkenlerimiz ile inceleyen bizim önceki çalışmalarımız haricinde (Doğan vd., 2024, Ablay ve Doğan, 2024) herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buna ek olarak literatürdeki yayınlarda elde edilen veriler kullanılarak çıkarımlar yapıldığı gözlemlenmiştir. Ancak çalışmamızda mevcut verilerden hareketle WinBUGS programı yardımıyla Monte Carlo simülasyonu ile 1500 000 yeni veri üretilmiştir. Bu durum üzerinde çalıştığımız örneklem sayısını artırmış ve kullandığımız Bayesyen yöntem ile daha etkili karar vermemizde yardımcı olmuştur. Bu durum dikkate alındığında çalışmamızın literatüre olumlu bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İlgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Petralia, vd. (2017) çalışmalarında, 1993 ile 2007 yılları arasında 65 ülke için ABD Patent ve Ticari Marka Ofisinden alınan patent verileri ile iki ayrı doğrusal olasılık modeli kullanarak yenilikçi teknolojik gelişimin ekonomik büyümeyi etkileme oranlarını araştırmıştır. Ayrıca ülkelerin bugün sahip olduğu teknolojik çeşitliliğin, gelecekte sahip olunabilecek teknolojik çeşitliliğe zemin hazırladığının tahmini yapılmıştır. Şeker (2019), 1989 ile 2017 yılları arasında Türkiye'nin ekonomik karmaşıklık endeksindeki değişimi ölçmek için yerli patent sayıları,

sermaye yatırımları ve yüksek teknoloji ürünlerin ihracatı değişkenlerini kullanmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiler Gregory-Hansen ve Johansen eş bütünleşme testleriyle analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda, Türkiye’de yapılacak olan yatırımların, gelişmekte olan teknolojik yenilikler alanında, ihraç edilebilecek yüksek teknoloji ürünlerde yapılmasının, ekonomik karmaşıklık endeksinin artmasını sağlayacağı öngörülmüştür. Uyar (2020) çalışmasında, 1984 ile 2018 yılları arasında Türkiye’nin ekonomik büyümesini, GSYİH bağımlı değişkeninin toplam patent sayısı ve yabancı yatırım bağımsız değişkenleri arasındaki ilişkiyi incelemek için Johansen Eş bütünleşme testi kullanılmıştır. Granger nedensellik testi yardımıyla değişkenler arasındaki nedensellik ölçülmüştür. Sonuç olarak, bu değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı ve pozitif yönlü olduğu tespit edilmiştir. Dobrzanski vd. (2021) çalışmalarında teknolojik gelişim göstergelerinden olan Ar-Ge fonlarının Afrika ülkelerinde verimli bir şekilde kullanılıp kullanılmadığını araştırmışlardır. 2009-2017 yılları için seçili Afrika ekonomilerinde Ar-Ge harcama verimliliğinin hesaplanması için girdi-çıkıtı verimliliğinin değerlendirilmesine olanak tanıyan Veri Zarflama Analizi metodolojisi kullanmışlardır. Analiz kapsamında kamu ve özel kurum harcamaları girdi değişkenleri, patent başvuru sayısı, yüksek teknoloji ihracatı ve bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makaleler çıktı değişkenleri olarak kullanılmıştır. Yapılan ampirik analiz sonuçlarına göre, genel olarak Afrika ülkelerinin inovasyon verimliliği açısından göreceli olarak düşük performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Kiani vd. (2022), 1991 ile 2018 yılları arasında gelişen teknolojik yeniliklerin çevre üzerindeki etkisini araştırmak için, Güney Asya ve Güneydoğu Asya bölgelerinden bazı ülkeler seçilmiştir. Bu ülkelerin ekolojik ayak izlerinin, GSYİH, patent başvuru sayısı, kentleşme, ticari açıklık ve yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemek için elde edilen veriler eş bütünleşme testi, birim kök testi ve otoregresif dağıtılmış gecikme modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Kozlova & Didenko (2022), G7 ve E7 ülkelerindeki insanların, gelişen teknoloji karşısında yaşam kalitesinin nasıl etkilendiğini incelemiştir. Bu ülkeler birbiriyle karşılaştırılırken insani gelişme endeksi, Gini endeksi, uluslararası yoksulluk sınırı, tüketici fiyat endeksi, patent başvuru sayısı, teknik iş birliği hibelerinin sayısı, Ar-Ge’de çalışan teknisyen sayısı ve yüksek teknoloji ihracat sayısı değişken olarak kullanılmıştır. Analizde Dickey Fuller, Student t, Ljung-Box Q-testleri ve en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada sosyal kalkınma stratejilerinde teknolojik gelişimin yaşam kalitesi üzerindeki etkisinin kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Mehmood vd. (2022) çalışmalarında, OECD ülkelerinde gelişen eko-teknolojilerinin enerji tüketimi ve CO2 emisyonlarının uyumunu test etmek için veri zarflama yöntemi kullanarak analiz gerçekleştirmişlerdir. Bu analizde girdi değişkenleri olarak konvansiyonel ve yenilenebilir enerji tüketimi ile toplam işgücü alınmıştır. Çıktı değişkenleri için GSYİH ve yerli patent, tasarım ve ticari marka sayısı kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda eko-teknolojik yeniliklerin arttırılmasının ve enerji tüketimi ile CO2 emisyonlarının azaltılmasının çevreyle ilgili sorunların çözümünde katkı sağlayacağı vurgulanmıştır. Mora Apablaza & Navarrete (2022), 2006 ile 2015 yılları arasında ABD Patent ve Ticari Marka Ofisi tarafından 44 ülke ile bağlantılı olarak verilen patentleri analiz etmiştir. GSYİH ile patent sayısı ve patent atıf sayısı kullanılarak ülkelerin teknolojik kapasitesini ölçen açıklanmış karşılaştırmalı avantaj testi uygulanmıştır. Bu çalışmada patent atıf sayısının, ülkelerin teknolojik gelişimleri hakkında iyi bir tahmine izin verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Dhar vd. (2023), yenilik ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, inovasyon ve ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisini araştırmak için Granger nedenselliği testi kullanılmıştır.

Çalışmanın veri setini 1961-2018 dönemine ait 34 OECD ülkesinin verileri oluşturmuştur. Sonuçlar, Amerika Birleşik Devletleri'nin en yüksek yenilik endeksine sahip olduğunu, Lüksemburg'un ise en yüksek ekonomik büyümeye sahip olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak çalışmada, yenilik ve ekonomik büyüme arasında hem tek yönlü hem de çift yönlü nedensel ilişkileri bulunduğu ifade edilmiştir.

Alofaysan vd. (2024) çalışmalarında 2006 ile 2021 yılları arasındaki verilere dayalı olarak yenilikçi finansal teknolojinin ve yeşil teknolojinin yenilenebilir enerji üzerindeki dinamik etkisini araştırmıştır. Çalışmada yöntem olarak dinamik birinci fark genelleştirilmiş momentler yöntemi (FD-GMM) kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yenilikçi finansal teknoloji ve yeşil teknolojinin yenilenebilir enerji üzerinde önemli ve olumlu bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Sojoodi & Baghbanpour (2024) çalışmalarında gelişmekte olan (30) ve gelişmiş olan (30) ülke için 2007-2020 dönemi verilerine dayalı olarak yüksek teknoloji endüstrisi ihracatı ile GSYİH büyümesi arasındaki ilişkiyi panel veri analizi yaklaşımı uygulayarak incelemiş ve karşılaştırmıştır. Panel veri analizinde Bootstrapping Panel Nedensellik Testi kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, seçilen gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde yüksek teknoloji ihracatının GSYİH büyümesi üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ve GSYİH büyümesinden yüksek teknoloji ihracatına doğru yalnızca tek yönlü bir nedensellik olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak ülkeler düzeyinde yapılan analiz sonuçlarında, bazı gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde yüksek teknoloji ihracatının GSYİH'nin büyümesine pozitif etkisinin olduğu da belirtilmiş ancak bu etkinin çok sınırlı düzeyde kaldığı vurgulanmıştır.

3. Veri seti, Model ve Metodoloji

3.1. Veri seti

Çalışmanın veri setini 1996-2020 yıllarını kapsayan gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH), patent başvuru sayısı (PBS) ve bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısı (BTM) bilgileri oluşturmaktadır. GSYİH verileri, sabit 2015 fiyatlarıyla ABD doları cinsinden ifade edilmiştir. GSYİH verileri, ekonomideki tüm yerleşik üreticiler tarafından sağlanan gayri safi katma değer, ürünlere dahil edilmeyen sübvansiyonlar çıkarılarak ve varsa ürün vergileri eklenerek hesaplanmış toplamını ifade eder. Patent sayıları, yeni bir şeyin bulunması aşamasında katkı sunan buluşların tüm ürün ve sürecinin Patent İş birliği Anlaşması veya ulusal düzeyde patent ofisinde yapılan dünya genelindeki başvuruların sayılarıdır. Bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makaleler, ekonometri, işletme, kamu yönetimi, iktisat, nicel analiz yöntemleri, fizik, biyoloji, kimya, matematik, klinik tıp, biyomedikal araştırma, mühendislik ve teknoloji ile yer ve uzay bilimleri gibi alanlarda yayımlanan bilimsel makalelerin sayısını ifade etmektedir. Veri seti, Dünya Bankası resmi veri sitesinden elde edilmiştir. Dünya bankasında, bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısı ile ilgili en geniş aralık 1996-2020 arasını kapsadığından çalışmada bu aralık tercih edilmiştir.

Teknolojik gelişim beraberinde yenilikleri de getirmiştir. Bir ülkede yapılan patent başvuru sayısı o ülkenin teknolojik gelişime verdiği önem düzeyinin ve gelişmişlik seviyesinin bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca bu patent verileriyle ülkelerin hangi alanlara yöneldiğinin ve ülkelerin birbiri ile olan rekabet gücünün yordanması sağlanmaktadır (Zhang & Yang, 2015). Herhangi bir ülke için sürdürülebilir bir ekonomik büyüme, başka ülkelerde meydana gelen yenilik ve gelişmelerin yakından takip edilerek ülkeye uyarlanmasıyla gerçekleşmektedir. Bunun için de yapılan patent başvuruları önem arz etmektedir. Yapılan birçok araştırmada patent başvurularının ülkelerin kalkınmasında, yenilik yapma potansiyelinde artış sağlamada ve gelişmiş başka ülkelerin seviyesine çıkmada veya gelişmişlik düzeyini koruyup geliştirmede

önemli bir değişken olduğu sonucuna varılmıştır (Tekin & Demirel, 2022; Karakostas, 2022). Küresel ölçekte devletler arasında rekabet gücünün belli bir seviyede olması veya bu düzeyin korunabilmesi için de patent başvuru sayısı değişkenler içerisinde oldukça önemli bir yer işgal etmektedir. Çünkü yapılan patent başvuruları ülkelerin sonraki yıllardaki kalkınma, teknolojik ve gelişmişlik potansiyelini göstermektedir. Bununla birlikte bilimsel gelişimde nerede olduğunun da bir ölçüsü konumunda bulunmaktadır.

Bilimsel yayınlar, bir ulusun büyümesini yansıtan temel göstergelerden biridir. Güçlü bir bilimsel araştırma ortamı, ekonomik ilerleme ve uzun vadeli sürdürülebilir kalkınma için gereklidir. Bir ülkenin ekonomik istikrarında araştırmanın artan önemi göz önünde bulundurulduğunda, bilgi ve teknoloji tabanlı ekonominin ön plana çıktığı görülmektedir. (Zainab vd., 2018). Öte yandan, bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makalelere teşvikleri ve yatırımları arttırmak ülkelerin kişi başına düşen geliriyle pozitif olarak ilişkilidir. Dahası, bu yatırım ve teşvikler sonucunda daha fazla inovasyon ve ekonomik büyüme elde edilebilir (Anser vd., 2024). Buna ek olarak, bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makaleler, bilimsel ve teknik açıdan ilerleme ve bilginin erişilebilirliği gibi temel nedenlerden dolayı oldukça önemlidir. Bilimsel ve teknik alanda ilerlemenin bir göstergesi olan makaleler bu alanda yapılacak olan araştırmalara ve yeni buluşlara rehber niteliği taşımakta ve bilimsel topluma katkıda bulunarak bilimin yayılmasında rol oynamaktadır. Bunun yanında makalelerin sayısı, kalitesi ve alanındaki etkisi yeni araştırmacıların ve kuruluşların ilgisini çekebilme ve bu sayede gerekli olan araştırma finansmanı ve destek sağlanması mümkün olabilmektedir.

3.2. Bayesyen Yaklaşımı

Bayesyen yaklaşım, Thomas Bayes tarafından kaleme alınan "Şans Doktrini'nde Bir Problemi Çözmeye Yönelik Bir Deneme" (An Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances) başlıklı çalışmaya dayanmaktadır." Çalışma matematiksel olasılık teorisi üzerine yazılmış bir eserdir. Bu eser, yazarının ölümünden iki yıl sonra, 1763 yılında yayımlanmıştır. İçerik, Bayes'in arkadaşı Richard Price'in eklediği çeşitli düzeltme ve ilaveleri de içermektedir. Eserin başlığı, "şans doktrini" ifadesinin o dönemde olasılık teorisini ifade etmek için kullanılıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Bu ifade, Abraham de Moivre'in bir kitabının başlığı aracılığıyla literatüre girmiştir. Bayes yaklaşımında, mevcut verilerden akıl yürüterek nedenlere ulaşmaya çalışması bu soruna en büyük katkısıdır. Burada olayların sırası ve kullanılan kavramlar, matematiksel gösterim ve terminoloji ile kolayca açıklanabilmektedir (Bernardo & Smith, 2000; Lee & Chu, 2012; Wikipedia, 2025). Bayesyen yöntem ilk ortaya atıldığında, sezgisel bir yaklaşım olduğundan dolayı oldukça fazla eleştiri almıştır. Ancak gelişen bilgisayar alt yapısı ve yazılım programları sayesinde her ne kadar sezgisel bir yaklaşım da olsa elde edilen sonuçların oldukça etkileyici olduğu gözlemlenmiş ve kullanılabilirliği son yıllarda artmıştır. Gelişen bilgisayar alt yapısının yanı sıra matematiksel olarak da sağlam temellere dayanması, bu yöntemin kullanım alanının genişlemesinde etkili olmuştur.

Bayesci yaklaşım, örneklemeden elde edilen veriler ile ön bilgi veya ön bilgi olasılıklarının birleştirildiği ve son olasılık dağılımının oluşturularak ilgili tahminlemeye yönelik bir yöntemdir. Burada son dağılım, ön dağılımla gözlenen değerlerin birlikte değerlendirilmesidir (Altındağ, 2015). Burada ön bilginin kullanımı, son bilgi dağılımını doğrudan etkilediği için Bayesci analizde önemli bir yeri vardır. Son bilgi dağılımının analitik çözümünün yapılabilmesi için ön bilgi dağılımı ile olasılık fonksiyonu ortak özelliklere sahip olmalıdır (Temiz, 2017). Bu yöntem ile, klasik modele uyumu zor olan, karmaşık modellerin, iç içe hiyerarşik modellerin tahmini kapsamlı bir şekilde yapılabilir (Congdon, 2006). Ayrıca küçük örnek

gruplarında, eksik veya yanlış ölçülen verilerde, gözlenmemiş verilerde, bilgisayar algoritmalarındaki gelişim sayesinde sonlu örnek çıkarımı yaparak (Dubois & Prade, 1988) Bayes modellerinin uygulanabilirliğini arttırmış ve parametrelerin iyi bir tahminini verdiği kanıtlanmıştır (Richardson & Best, 2003). Bayes modelinin tahminlemede kullanılan diğer alternatif modellere kıyasla daha doğru tahminler gerçekleştirebilmesi, ters problemlerin çözümlerindeki belirsizliği nicelleştirebilme becerisi gibi üstün yanları literatürde yer alan bir kısım çalışmalarda vurgulanmaktadır. Aynı zamanda bu sebeplerden ötürü yöntem olan ilginin de son yıllarda arttığı ifade edilmektedir (Panagiotidis vd., 2024; Amrani vd., 2024; Afkham vd., 2024).

Klasik yöntem ile Bayesyen yöntem arasındaki temel farklılık Bayesyen yöntemde önsel dağılımın kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Önsel dağılımın analize dahil edilmesi araştırma yapılacak konu hakkındaki inançlarımızı, önceki yargılarımızı mevcut veriye dahil ederek analiz yapmamıza olanak sağlamaktadır. Bayes yaklaşımının verilerle geçmiş deneyimleri mantıksal bir çerçevede birleştirebilmesi ve parametre inancımızın nasıl güncellenmesi gerektiği konusunda bilgi içermesinin yanı sıra mantıksal olarak iyi kurgulanmış, metodolojisi açık ve anlaşılır olması açısından da kullanımı oldukça önemlidir (Goldstein & Wooff, 2007; Mccarthy, 2007).

Parametre hakkında herhangi bir ön bilgiye sahip değilsek bilgi vermeyen ön dağılım, parametre hakkında bir ön bilgimiz mevcut ise bilgi veren ön dağılım kullanılır. Bilgi veren veya bilgi vermeyen dağılımlarda Bayesyen yöntem rahatlıkla kullanılabilir. Burada önsellerin seçimi oldukça önemlidir. Çünkü her model için uygun bir önsel dağılım ailesinin seçilmesi ve mevcut verileri iyi bir şekilde yansıtacak parametre değerlerinin bulunması analiz sonuçlarını doğrudan etkileyecektir (King vd., 2009). Ayrıca Bayesyen yaklaşımın uygulanmasında, maksimum olabilirlik fonksiyonu, ön bilgi dağılışı ve son bilgi dağılışı arasında Tablo 1'deki uyum olmalıdır (Karadağ, 2011).

Tablo 1: Eşlenik Aileler

Olabilirlik Fonksiyonları	Ön Bilgi Dağılımı	Son Bilgi Dağılımı
Binom	Beta	Beta
Tek biçimli	Pareto	Pareto
Normal (σ^2 biliniyor)	Normal	Normal
Normal (μ biliniyor)	Ters Gama	Ters Gama
Poisson	Gama	Gama
Üstel	Gama	Gama
Gama	Gama	Gama
Bernoulli	Beta	Beta
Normal	Normal-Gama	Normal-Gama

Kaynak: (Karadağ, 2011)

3.3. Bayesyen Regresyon Analizi

Rastgele bir değişken olan θ parametresi belli iken y gözlem verileri için benzerlik fonksiyonu $f(y|\theta)$ ile gösterilmek üzere; θ , rastgele değişkeni için yoğunluk fonksiyonu,

$$h(\theta, y) = f(y|\theta).g(\theta) = g(\theta|y).f(y) \quad (1)$$

olup, (1) eşitliği

$$g(\theta|y) = \frac{f(y|\theta).g(\theta)}{f(y)} = \frac{f(y|\theta).g(\theta)}{\int f(y|\theta).g(\theta)d\theta} \quad (2)$$

şeklinde düzenlenerek Bayes teoremi elde edilir. (2) eşitliğinde $g(\theta|y)$, θ parametresi için sonsal dağılımı ifade eder. Ayrıca (2)'nin paydasındaki $f(y) = \int f(y|\theta).g(\theta)d\theta$ eşitliği Bayesyen yaklaşım için normalleştirme sabiti olup 1'e eşittir (Judge vd., 1986). Bu değer tekrardan yazıldığında (3) eşitliği elde edilir.

$$g(\theta|y) \propto f(y|\theta).g(\theta) \quad (3)$$

burada ' \propto ' sembolü orantılı olduğunu göstermektedir (Greenberg, 2013). θ için benzerlik fonksiyonu $f(y|\theta)$, matematiksel olarak olabilirlik fonksiyonu $\ell(\theta|y)$ ile aynı olup eşitlik (3)'te yerine yazılırsa (4) eşitliği elde edilir.

$$g(\theta|y) \propto \ell(\theta|y).g(\theta) \quad (4)$$

eşitlik (4)'te verilen ifade sözel olarak,

sonsal dağılım \propto olabilirlik fonksiyonu x önsel dağılım

şeklinde ifade edilir. $e \sim N(0, \delta^2)$ olan (4) eşitliğine $y = x\beta + e$ doğrusal model uygulandığında,

$$g(\beta, \sigma | y) \propto \ell(\beta, \sigma | y).g(\beta, \sigma) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \ell(\beta, \sigma | y) &= (2\pi\sigma^2)^{-T/2} \exp\left[-\frac{(y-x\beta)'(y-x\beta)}{2\sigma^2}\right] \\ &= (2\pi)^{-T/2} \sigma^{-T} \exp\left[-\frac{(y-x\beta)'(y-x\beta)}{2\sigma^2}\right] \end{aligned} \quad (6)$$

(6) eşitliğinde

$$b = (x'x)^{-1}x'y, \quad \hat{\sigma}^2 = -\frac{(y-xb)'(y-xb)}{v}, \quad v = T - K$$

Değerleri yerine yazıp ve normalleştirme sabitini yazmaz isek,

$$\ell(\beta, \sigma | y) = \sigma^{-T} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [v\hat{\sigma}^2 + (\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} \quad (7)$$

olabilirlik fonksiyonu elde edilir.

Bilgi Vermeyen Önsel Dağılım ile Sonsal Dağılımın Elde Edilmesi:

$$\beta \text{ ve } \sigma \text{ parametreleri için bilgi vermeyen önsel dağılım için } g(\beta, \sigma | y) \propto \delta^{-1} \quad (8)$$

orantılı ifadesi kullanılmaktadır.

β, σ parametrelerinin bağımsızlık varsayımı altında eşiti

$$g(\beta, \sigma) = g(\beta)g(\sigma) \propto \delta^{-1} \quad -\infty < \beta < \infty, 0 < \sigma < \infty \quad (9)$$

şeklinde olup $g(\beta)$ sabit kabul edilirse $g(\sigma) \propto \sigma^{-1}$ olur (Judge vd., 1986).

Burada,

$\int_{-\infty}^{\infty} g(\beta)d\beta = \infty, \quad \int_0^{\infty} g(\sigma)d\sigma = \infty$ olduğundan (7) ve (8) eşitliği, (5) eşitliğinde yerine yazılıp gerekli işlemler yapılırsa sonsal dağılım,

$$g(\beta, \sigma | y) \propto \ell(\beta, \sigma | y).g(\beta, \sigma)$$

$$\propto \sigma^{-(T+1)} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [v\hat{\sigma}^2 + (\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. Elde edilen bu ortak sonsal yoğunluk fonksiyonu sonsal ile ilgili bütün bilgilerimizi özetler ancak çeşitli marjinal ve sonsal yoğunlukları dikkate aldığımızda eşitlik (10)'u tekrardan düzenlersek,

$$g(\beta, \sigma | y) = g(\beta | \sigma, y) \cdot g(\sigma | y) \quad (11)$$

$$g(\beta | \sigma, y) = (2\pi)^{-K/2} \sigma^{-K} |x'x|^{1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [(\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} \quad (12)$$

ve

$$g(\sigma | y) = \frac{2}{\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \left(\frac{v\hat{\sigma}^2}{2}\right)^{v/2} \frac{1}{\sigma^{v+1}} \exp\left(-\frac{v\hat{\sigma}^2}{2\sigma^2}\right) \quad (13)$$

eşitlik (13) ile verilen σ marjinal sonsal yoğunluk fonksiyonu v ve $\hat{\sigma}^2$ parametreleri ile ters çevrilmiş bir gama dağılımıdır. σ bilinmediği için (12) eşitliği tekrar β parametresine göre düzenlenip, σ parametresine göre integrali alınırsa,

$$\begin{aligned} g(\beta | y) &= \int_0^\infty g(\beta, \sigma | y) d\sigma \\ &= \int_0^\infty g(\beta | \sigma, y) \cdot g(\sigma | y) d\sigma \\ &\propto \int_0^\infty \sigma^{-(T+1)} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [v\hat{\sigma}^2 + (\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} d\sigma \\ &\propto \left[1 + \frac{1}{v} (\beta - b)' \frac{x'x}{\hat{\sigma}^2} (\beta - b)\right]^{-(K+v)/2} \end{aligned} \quad (14)$$

olarak elde edilir. Eğer tek parametre üzerinden sonsal bilgi elde edilmek istenirse,

β_1 için,

$$g(\beta_1 | y) \propto \left[1 + \frac{1}{v} \left(\frac{\beta_1 - b_1}{\hat{\sigma} \sqrt{a_{11}}}\right)\right]^{-(1+v)/2} \quad (15)$$

ortalaması b_1 , varyansı $\left[\frac{v}{v-2}\right] \hat{\sigma}^2 a_{11}$ olan tek değişkenli bir t dağılımıdır. Ayrıca b_1 , b deki ilk eleman ve a_{11} de $(x'x)^{-1}$ matrisinin ilk köşegen elemanıdır.

σ için,

$$\begin{aligned} g(\sigma | y) &= \int_0^\infty g(\beta, \sigma | y) d\beta \\ &\propto \frac{1}{\sigma^{v+1}} \exp\left(-\frac{v\hat{\sigma}^2}{2\sigma^2}\right) \end{aligned} \quad (16)$$

olarak elde edilebilir (Judge vd., 1986).

Bilgi Veren Önsel Dağılım ile Sonsal Dağılımın Elde Edilmesi:

β ve σ parametrelerine bağlı (7) olabilirlik fonksiyonunun doğal eşlenik fonksiyonu gama fonksiyonu olup,

$$\ell(\beta, \sigma | y) \propto h_1(\beta | \sigma, y) h_2(\sigma | y) \quad (17)$$

$$h_1(\beta|\sigma, y) = \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [(\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} \quad (18)$$

$$h_2(\sigma|y) = \sigma^{-T} \exp\left(\frac{v\bar{s}^2}{2\sigma^2}\right) \quad (19)$$

olup, (β^l, σ) için önsel bilgi,

$$\begin{aligned} g(\beta, \sigma) &= (2\pi\sigma^2)^{-K/2} |A|^{1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [(\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} \\ &= (2\pi)^{-K/2} \sigma^{-T} |A|^{1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [(\beta - b)'x'x(\beta - b)]\right\} \end{aligned} \quad (20)$$

ve

$$g(\sigma) = \frac{2}{\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \left(\frac{v\bar{s}^2}{2}\right)^{v/2} \quad (21)$$

(20) ve (21)'in birleştirilmesi ve normalleştirme sabitinin çıkarılması ile

$$g(\beta, \sigma) \propto \sigma^{-K-\bar{v}-1} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [\bar{v}\bar{s}^2 + (\beta - \bar{\beta})'A(\beta - \bar{\beta})]\right\} \quad (22)$$

normal gama önsel yoğunluğu elde edilir. Bu denklemin σ ya göre integrali alınırsa,

$$g(\beta) \propto \left[1 + \frac{1}{\bar{v}} (\beta - \bar{\beta})' \frac{A}{\bar{s}^2} (\beta - \bar{\beta})\right]^{-(K+\bar{v})/2} \quad (23)$$

β için önsel yoğunluk elde edilir. (22) doğal eşlenik ile (6) olabilirlik fonksiyonu (5) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$g(\beta, \sigma|y) \propto \sigma^{-T-K-\bar{v}-1} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [\bar{v}\bar{s}^2 + (\beta - \bar{\beta})'A(\beta - \bar{\beta})]\right\} \quad (24)$$

sonsal yoğunluk fonksiyonu elde edilir (Koehrsen, 2018).

3.4. Monte Carlo Simülasyon Yöntemi (MCS)

Analitik olarak modellenmesi karmaşık veya çözülmesi zor olan durumların davranışını simüle etmek için kullanılan Monte Carlo simülasyon yöntemi aynı zamanda analitik olarak çözümü mümkün olan modellere de uygulanabilmektedir. Monte Carlo simülasyon yöntemi ile elde edilen değerlerin gerçek veri değerlerine çok yakınsadığı, programlama da çok hızlı çalıştığı ve basit modellerde bile iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Ayrıca Monte Carlo Markov Zincirleri (MCMC) sonsal dağılımdan birbirinden bağımsız örnek bulmamızı sağlayarak, örneklem boyutu sonsuza doğru gittikçe, büyük sayılar yasasına göre beklenen değerimizin gerçek değere çok yaklaştığını veya gerçek değerinde edildiğini gözlemlemekteyiz (Hahn, 2014). En güçlü olasılık yöntemleri arasında yer alan Monte Carlo simülasyonu, çeşitli optimizasyon problemlerinde kullanılır. Bu problemlerin çözümünde MCS'nin optimum bir çözüm elde etmek için faydalı olduğu literatürde yer alan birçok çalışmada savunulmaktadır (Tuskan & Erzin, 2024).

İstatistiksel yazılım paketi olan WinBUGS, özellikle Bayesyen istatistiksel modelleme ve çeşitli istatistiksel problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılır. WinBUGS, özellikle karmaşık istatistiksel modellerin kestiriminde ve analizinde kullanılan güçlü bir araç olduğu için kullanımı oldukça yaygındır. WinBUGS, Gibbs örnekleme gibi MCMC yöntemini

kullanarak karmaşık problemlerin çözümünün yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bağımsız bir program olan WinBUGS, diğer programlar tarafından çağrılabilen ve R programının içinde açılabilir (Mccarthy, 2007).

3.5. Model

Türkiye'nin teknolojik göstergelerinin ekonomik büyümeye etkisini incelemek için çoklu Bayesyen regresyon yöntemi ve çoklu doğrusal regresyon yöntemi uygulanıp karşılaştırılması yapılmıştır. Bağımlı değişkenimiz GSYİH ve bağımsız değişkenlerimiz BTM ve PBS olup modelimiz eşitlik (25)'te gösterildiği gibidir.

$$GSYİH_t = \beta_1 + \beta_2 * BTM_t + \beta_3 * PBS_t + \varepsilon_t \quad (25)$$

Model analizinde öncelikle önsel dağılımın seçimi önemli olup Türkiye'nin önsel dağılımı İspanya seçilmiştir. Bu seçimde İspanya'nın Türkiye gibi Akdeniz ülkesi olması, aynı iklimin görülmesi, her iki ülkenin de kıtalar arası köprü görevinde bulunması gibi coğrafi benzerlikler etkili olmuştur (Ekici, 2005). Çoğu sonsal yoğunluktaki çarpım terimi, sıfıra çok yakın olan birçok küçük sayının çarpımını içerir. Bu nedenle, sonsal yoğunluk için ortaya çıkan çarpım terimi son derece küçük bir sayı olacaktır ve büyük veri kümelerinde o kadar küçülebilir ki bilgisayar bunu yeterince temsil edemez. Bu sorunu önlemenin bir yolu logaritmaları kullanmaktır (Hahn, 2014). Bu nedenle bu bölümde hesaplamalarda sayısal hataları önlemek, matematiksel işlemleri kolaylaştırmak ve kararlılığı artırmak için İspanya ve Türkiye'ye ait verilerin logaritması alınarak önsel ve sonsal dağılım hesaplamaları yapılmıştır. İspanya verilerinden elde edilen değerler Türkiye için ön bilgi olarak kullanılmıştır.

Modelde belli bir iterasyondan sonra sonsal dağılım yavaş yavaş beklenen değere yakın örnekler üretmeye başlamaktadır. Burada hangi iterasyondan sonrasının dikkate alınacağı sorgulandığında genellikle 1000-5000 zincir aralığında yakmaya izin verilmesinin normal olduğu vurgulanmaktadır. Çalışmamızda ilk 1000 yinelemeli yanmaya izin verilmiştir. İterasyon sayısını belirlerken zincirin başlangıç değerlerinden uzaklaşması ve MC hatasının 0.05'ten küçük olması dikkate alınarak yeterli sayıda Markov zincirine izin verilmelidir (Hahn, 2014).

4. Ampirik Sonuçlar

4.1. Önsel Dağılım

Türkiye'ye ait önsel dağılımı olan İspanya verileri, normal dağılımı belirlemek için kullanılan çekirdek yoğunluk tahmini (kernel density estimation) yöntemi ile analiz edilmiş ve normal dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısı ile WinBUGS programında İspanya'nın önsel dağılımı bilinmediği için bilgi vermeyen önsel dağılım seçilmiştir. İspanya önsel dağılımının parametrelerinin ortalaması 0, kesinliği 0.001 olarak alınıp, belirsiz önsel dağılımın parametrelerinin belirsizlikle özdeş olması sağlanmıştır (Ekici, 2005). Programın kesinlik ile çalışmasından dolayı varyans yerine kesinlik tercih edilmiş ve kesinlik için gama dağılımı kullanılmıştır.

Burada $b[j]$ 'ler ortalaması sıfır ve kesinliği 0.001 olan belirsiz önsel dağılımı, kesinlik ise parametre değerleri 0.001 olan gama dağılımı olup aşağıdaki şekliyle gösterilmektedir (Hahn, 2014).

$$b[j] \sim \text{dnorm}(0, 0.001)$$

$$\text{tau} \sim \text{dgamma}(0.001, 0.001)$$

4.2. Sonsal Dağılım

Sonsal dağılımı elde etmek için İspanya verilerinden elde edilen parametre ve kesinlik, Katsayı parametreleri = (10.69, 0.24, 0.07)

Kesinlik = (2.56, 156.99, 65.67)

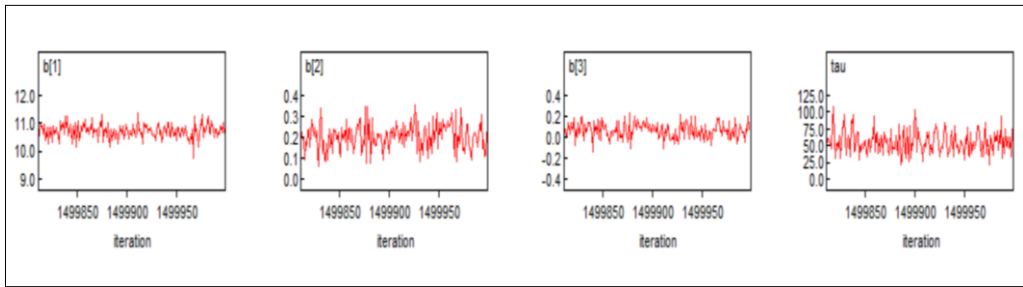
değerleri Türkiye verilerinin önsel dağılımı olarak alınıp WinBUGS programı yardımıyla gerekli işlemler yapıldığında Türkiye modeline ait sonsal dağılım verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler tablo ve şekil yardımıyla verilmiş ve yorumları yapılmıştır.

Tablo 2: Tanımlayıcı İstatistik Tablosu

Parametre	Ortalama	Standart Sapma	MC Hata	%2.5	Medyan	%97.5	Başlangıç	Örneklem
b [1]	10.70	0.26	2.15E-4	10.18	10.70	11.22	1001	1499000
b [2]	0.20	0.06	4.90E-5	0.09	0.20	0.32	1001	1499000
b [3]	0.07	0.08	6.12E-5	-0.08	0.07	0.22	1001	1499000
tau	56.10	16.43	0.01	28.77	54.48	92.70	1001	1499000

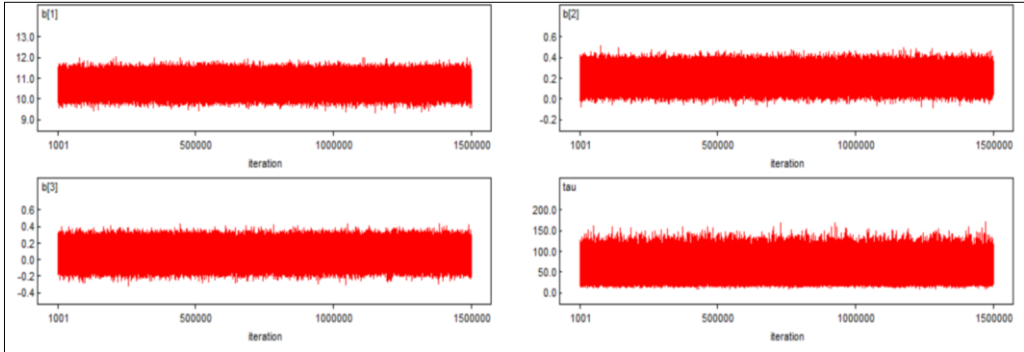
Türkiye sonsal dağılımına ait istatistik tablosunda MC hatasına bakıldığında 0.05'ten küçük olup istenen şartı sağladığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda değişkenlerin katsayılarının işaretleri beklendiği gibi pozitif olup, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni pozitif yönde ve anlamlı olarak etkilediği Tablo 2'den gözlemlenmektedir.

Şekil 1: İz Çizimi



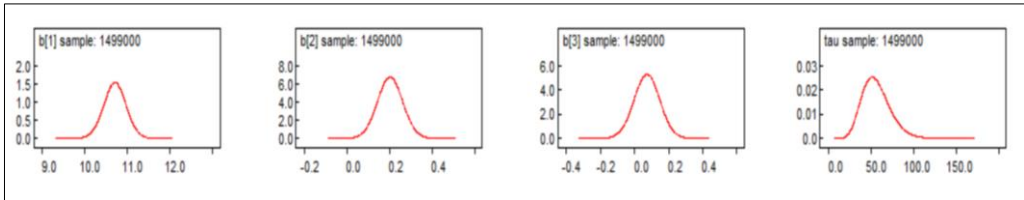
İz çizimi grafiği, Markov zincirlerinin son 200 iterasyonunda sonsal dağılımı arama hızının zaman içerisinde izlediği yolun ve sonsal dağılımın durağan olup olmadığının incelenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca Markov zincirinin karıştırma düzeyi parametreler arasındaki ilişkiyi yorumlamak adına araştırmacıya yol göstermektedir. Buna göre Şekil 1'de yer alan iz çizimi grafiğine bakıldığında Markov zincirinin son 200 iterasyonu görüntülediği görülmektedir. Sonsal dağılımın parametrelerinin arama hızını Şekil 1'den gözlemleyebiliriz. Şekil 1 detaylı olarak incelendiğinde Türkiye modelinin sonsal dağılım parametrelerini arama hızının istenen seviyede ve makul düzeyde olduğu yorumu yapılabilir.

Şekil 2: Çoklu Zincir İzleme Hareket Grafiği; 1001-1500000



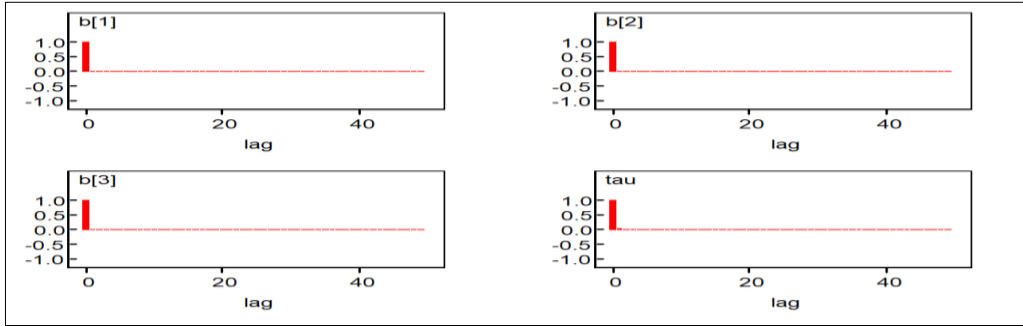
Çoklu zincir izleme hareket grafiği, Markov zincirlerinin yanmadan itibaren tüm iterasyonda sonsal dağılımı arama hızının zaman içerisinde izlediği yolun ve sonsal dağılımın durağan olup olmadığının incelenmesinde kullanılmaktadır. Buna göre Şekil 2’de yer alan çoklu zincir izleme hareket grafiğinde ilk 1000 adımın yanma olarak belirlendiği ve 1001’den 1500000’e kadar olan zincir hareketinin iterasyonu gözlemlenmektedir. Sonsal dağılımın zincir boyunca tutarlı bir şekilde yakınsadığı nokta etrafında değerler ürettiğini ve tüm zincirlerin iyi karıştığını söyleyebiliriz. Örneğin b [1] parametresinin (10.18 - 11.22) aralığında 10.70, b [2] parametresinin (0.09 - 0.32) aralığında 0.20 ve b [3] parametresinin (-0.08 - 0.22) aralığında 0.07 değerine yakın noktalarda değer ürettiği yorumunu yapabiliriz.

Şekil 3: Kernel Yoğunluk Çizimi



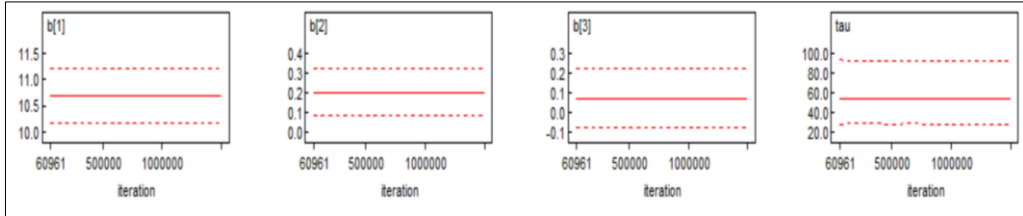
Kernel yoğunluk çizimi parametrelerin dağılımları hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3 incelendiğinde parametrelerin normal dağılıma, kesinliğin ise çarpık dağılıma sahip olduğu gözlemlenmektedir. Başka bir ifade ile, b [1] parametresinin ortalaması 10.70 ve medyanı 10.70, b [2] parametresinin ortalaması 0.20 ve medyanı 0.20, b [3] parametresinin ortalaması 0.072 ve medyanı 0.073 olup Kernel yoğunluk grafiği çan eğrisi şeklinde olduğundan normal dağılıma sahip iken, kesinliğin ortalaması 56.10 ve medyanı 54.48 olup sağ kuyruğu uzun olduğu için sağa çarpıktır.

Şekil 4: Otokorelasyon Çizimi



Otokorelasyon çizimi, belirli bir iterasyon ile diğer bir iterasyon arasındaki otokorelasyonu incelemektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi grafik her zaman 1'den başlamaktadır. Bunun anlamı da her iterasyonun kendisiyle olan otokorelasyonunu göstermektedir. Otokorelasyon çizimi, Markov zincirinin verimliliğinin tespitinde fikir vermekte yardımcı olmaktadır. Burada ideal durumun tüm otokorelasyonların sıfıra yakın olmasıdır. Şekil 4'e bakıldığında tüm parametreler için otokorelasyonun sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Bu da bize Markov zincirlerinin çalışma süresince bir iterasyondan diğerine geçişte otokorelasyonun sıfır olup zincirlerin birbirinden bağımsız olarak üretildiği fikrini vermektedir. Böylece bu çizimden simülasyon değerleri arasında bir bağımlılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5: Çalışan Nicelikler Grafiği



Çalışan niceliklerin grafiği, parametrelerin istenen değere yakınsayıp yakınsamadığını göstermektedir. Eğer grafik durağan değilse istenen değere yakınsamadığı ve değişen ortalama niceliklerdeki kaymayı gösterecektir. Sonsal dağılıma ulaşılmış ise ortalama tahmin Markov zincirinin çeşitli alt kümelerinde kararlı durum sergileyecektir. Kısaca niceliklere ilişkin tahminimiz (%95 güvenilir aralık gibi) Markov zincirinin çeşitli alt kümelerinde tutumu kararlı olacaktır. Eğer zincir istenen değere yakınsadıysa hareketi boyunca az sapmalar oluşması beklenmektedir. Ancak zincir istenen değere yakınsamadı ise ortalamanın ve niceliklerin hareketi çalışma boyunca durağan dağılıma doğru yaklaşıyor olmalıdır (Hahn, 2014). Şekil 5'e bakıldığında %95 güven aralığında parametre değerlerinin ve kesinliğin çalışma boyunca sabit olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin b [1] parametresinin 10.70 değerine yakınsadığı Şekil 5'ten gözlemlenmektedir.

BTM ve PBS bağımsız değişkenlerinin GSYİH bağımlı değişkeni üzerindeki açıklayıcı etkisini test etmek için SPSS-22 programı yardımıyla çoklu doğrusal regresyon analizi ve WinBUGS programı yardımıyla belirli ve belirsiz önselli çoklu Bayesyen regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Klasik ve Bayesyen Doğrusal Regresyon Yöntemiyle Parametre Tahmini

Parametreler	Parametre Değeri ve Aralığı	Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi	Belirsiz Önselli Çoklu Doğrusal Bayesyen Regresyon Analizi	Belirli (İspanya) Önselli Çoklu Doğrusal Bayesyen Regresyon Analizi
b[1]	Değeri	10.59	10.80	10.70
	Aralığı	(9.96, 11.23)	(10.10, 11.51)	(10.18, 11.22)
b[2]	Değeri	0.21	0.14	0.20
	Aralığı	(0.02, 0.40)	(-0.08, 0.35)	(0.09, 0.32)
b[3]	Değeri	0.09	0.12	0.07
	Aralığı	(-0.13, 0.31)	(-0.12, 0.37)	(-0.08, 0.22)

Tablo 3'te Bayesyen regresyon yönteminde Türkiye örneği için belirsiz önsel dağılım ve İspanya önsel dağılımı alınarak elde edilen sonuçlar da verilmiştir. Buradan parametre değerlerimizin birbirine oldukça yakın olduğu ve İspanya önseli alınarak elde edilen Bayesyen regresyon sonuçlarının Klasik yöntemle ve belirsiz önselli Bayesyen yöntemle elde edilen sonuçlardan daha dar bir aralıkta değer aldığı gözlenmektedir. Ayrıca klasik yöntemle elde edilen sonuçların, belirsiz önselli Bayesyen regresyon analizinden elde edilen sonuçlardan daha dar aralığa sahip olduğu gözlenmektedir. Bu durum belirli (İspanya) önselli Bayesyen yöntemle elde edilen sonuçların Klasik yöntemle ve Belirsiz önselli Bayesyen yöntemle elde edilen sonuçlara göre daha kararlı olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmamızda Bayesyen belirli ve belirsiz önsel dağılım kullanılıp WinBUGS programı yardımıyla 1 500 000 örneklem türetilmiş ve ilk 1000 adımının yanmasına izin verilmiştir. Analiz sonucunda modelimizdeki PBS değişkeni sabit tutulduğunda BTM değişkenindeki bir birimlik artışa karşılık GSYİH değişkeninde Çoklu Doğrusal Regresyonu için 0.21, Belirsiz Önselli Çoklu Doğrusal Bayesyen Regresyonu için 0.14, Belirli Önselli Çoklu Doğrusal Bayesyen Regresyonu için 0.20 birimlik artış söz konusu olacaktır. BTM değişkeni sabit tutulduğunda PBS değişkenindeki bir birimlik artışa karşılık GSYİH değişkeninde Çoklu Doğrusal Regresyonu için 0.09, Belirsiz Önselli Çoklu Doğrusal Bayesyen Regresyonu için 0.12, Belirli Önselli Çoklu Doğrusal Bayesyen Regresyonu için 0.07 birimlik artış gerçekleşecektir. Üç yöntemde de BTM'nin katsayılarının PBS'nin katsayılarından büyük olduğu görülmektedir. Diğer yandan, patent başvuru sayısı ve bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısı değişkenlerimizin katsayıları kullanılan üç yöntemde de pozitif olarak bulunmuştur. Bu durum bağımsız değişkenlerin Türkiye'deki teknolojik yenilik ve gelişimin ekonomik büyümeye etkisini pozitif yönlü olarak etkilediğini göstermektedir. Aynı zamanda bu bağımsız değişkenlerin teknolojik gelişim üzerindeki önemi (Cavdar & Aydın, 2015; Mehmood vd., 2022; Zainab vd., 2018; Mora Apablaza & Navarrete, 2022) çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

5. Sonuç

Çalışmada, 1996 ile 2020 yıllarını kapsayan aralıktaki veriler Dünya Bankası resmi veri setinden derlenerek Türkiye'nin teknolojik yenilik ve gelişiminin, ekonomik büyüme üzerine etkisini analiz etmek için klasik yöntem ve Bayesyen yöntem kullanılmıştır. Bayesyen yöntemde belirli ve belirsiz önsel dağılımlar kullanılarak ayrı ayrı parametre değerleri elde edilmiştir. Bayesyen yaklaşımı bir önsel bilgi olmadan da çalışabilmekte ve klasik yöntemle

elde edilen sonuçlara ya çok yakın ya da aynı değerler elde edilebilmektedir. Ancak iyi seçilmiş bir önsel bilgi ile çalışıldığında hem klasik yöntemden hem de belirsiz önselli Bayesyen yaklaşımından daha iyi sonuçlar üretmektedir. Ayrıca iyi seçilmiş bir önsel ile elde edilen değer aralığının beklenen değer aralığına daha yakın olduğu (Kruschke vd., 2012) çalışması ile benzerlik göstermektedir.

Analizimizde kullanılan Bayesyen yaklaşımı, Monte Carlo yöntemi ve WinBUGS programı ile çok hızlı çalışması, simülasyona dayalı elde ettiğimiz sayısal verilerin gerçek değere yakınsaması, küçük ve basit modellere de uygulanabilmesi gibi temel özelliklerinden dolayı oldukça kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca WinBUGS, Bayesyen yöntemde kullanılabilen ve karmaşık problemlerin yaklaşık çözümlerini elde etmek için Monte Carlo Simülasyon yöntemi ile uyumlu çalışabilen güçlü bir yazılımdır. Analitik olarak modellenmesi karmaşıklaştıkça ve değişken sayısı arttıkça klasik yöntem ile analiz yapmak zorlaşmakta ve hatta bazen çözüme ulaşmak imkânsız olmaktadır. Klasik yöntemde değişken sayısı arttıkça ve model karmaşıklaştıkça değişkenler arasındaki yüksek korelasyona bağlı olarak çoklu doğrusal bağımlılık problemi ile karşılaşmaktadır. Ancak Bayesyen yöntemin çoklu doğrusallıktan etkilenmemesi daha karmaşık problemlerde kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ek olarak bilgisayar alt yapısındaki gelişimle birlikte kullanılabilirliği günden güne artmaktadır.

Bayesyen yöntemle analiz yapıldıktan sonra elde edilen veriler önsel olarak alınıp yeni veriler ile tekrardan kullanıma dahil edilmesi analizde sürekliliği sağlamaktadır. Bu durum Bayesyen yöntem sayesinde çalışılan konuda veriler güncellendiğinde önceki analiz sonucunun tekrar tekrar analize önsel olarak girmesine imkân vermektedir. Ayrıca Bayes yaklaşımında seçilen önsel dağılım çalışmada kullanılan veriye benzer olduğu zaman elde edilen sonuçlar ya gerçek değere çok yakın ya da gerçek değer kendisi elde edilmektedir. Kullandığımız İspanya önselinin Türkiye verilerine benzerlik göstermesi ve kullanılan WinBUGS programının etkin çözüm üretmesi sonucunda elde ettiğimiz sonuçlar (Scheines vd., 1999; Gündoğdu, 2016; Yurtçu, 2018) çalışmalarıyla paralellik göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda, ülkelerin teknolojik gelişimini etkileyen faktör sayısının oldukça fazla olması dikkate alındığında değişken sayısı artırılabilir. Değişkenler sektörlere, bakış açısına ve süreç durumuna göre farklılık gösterse de ileriki çalışmalarda temelde, ülkelerin teknolojik gelişimini etkileyen temel değişkenler içerisinde Ar-Ge faaliyetleri, patent başvuru sayısı, patent ve mülkiyet hakkı, bilimsel ve teknik dergilerde yayımlanan makale sayısı, inovasyon kapasitesi, teknoloji transferi ve iş birliği, dijitalleşme, ekonomik performans, insan kaynakları vb. değişkenler kullanılabilir. Bu değişkenlerin teknolojik gelişime hangi oranda etki ettiğini belirlemek için verilere farklı ağırlık değerleri atanarak ağırlıklandırılmış regresyon, modelin doğruluğunu ve genelleşme yeteneğini değerlendirmek için Out-of-Sample tahminleme, regresyon katsayılarını tahmin etmede uç değerlerden fazla etkilenmeyen doğrusal programlama vb. farklı yöntemler kullanılabilir. Ayrıca hibrit yaklaşımlar kullanılarak teknolojik gelişimi etkileyen alanlar birlikte değerlendirilebilir.

Son olarak, Türkiye'nin bilimsel ve teknolojik olarak ilerlemesinde önemli bir değişken olan patent başvuru sayıları ve bilimsel-teknik dergilerde yayımlanan makale sayılarının; yeniliklerin korunması ve geliştirilmesi, bilimsel alanda ilerlemenin sağlanması ve yeni buluşlara imkân vermesi, devletler arasında rekabet edebilme gücünün artması, yapılan araştırma ve eğitimlerdeki kalitenin artması, ülke içi ve dışında iş birliğinin artması gibi birçok önemli etkisinin olduğu söylenebilir. Bu bağlamda çalışmamızın mevcut literatüre anlamlı ve pozitif bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- Ablay, M. V., & Doğan, A. (2024). The role of R&D expenditures, information and communication technology products exports and high-technology products exports on Turkey's technological development. *İktisadi İdari ve Siyasal Araştırmalar Dergisi*, 9(24), 428-446. <https://doi.org/10.25204/iktisad.1409735>
- Afkham, B. M., Knudsen, K., Rasmussen, A. K., & Tarvainen, T. (2024). A Bayesian approach for consistent reconstruction of inclusions. *Inverse Problems*, 40(4), 045004. <https://doi.org/10.1088/1361-6420/ad2531>
- Algan, N., Manga, M. & Tekeoğlu, M. (2017). Teknolojik gelişme göstergeleri ile ekonomik büyüme arasındaki nedensellik ilişkisi: Türkiye örneği. *International Conference on Eurasian Economies* (pp. 332-338).
- Alofaysan, H., Radulescu, M., Balsalobre-Lorente, D., & Mohammed, K. S. (2024). The effect of eco-friendly and financial technologies on renewable energy growth in emerging economies. *Heliyon*, 10(17), e36641. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36641>
- Altındağ, İ. (2015). *Bayesci doğrusal olmayan yapısal eşitlik modeli* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Konya Selçuk Üniversitesi.
- Amrani, A., Diepeveen, D., Murray, D., Jones, M. G., & Sohel, F. (2024). Multi-task learning model for agricultural pest detection from crop-plant imagery: A Bayesian approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108719. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108719>
- Anser, M. K., Ahmad, M., Khan, M. A., Nassani, A. A., Haffar, M., & Zaman, K. (2024). The "IMPACT" of web of science coverage and scientific and technical journal articles on the world's income: Scientific informatics and the knowledge-driven economy. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(1), 3147-3173. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01302-z>
- Bernardo, J. M., & Smith, A. F. M. (2000). *Bayesian theory*, John Wiley & Sons Inc.
- Cavdar, S. C., & Aydın, A. D. (2015). An empirical analysis about technological development and innovation indicators. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 1486-1495.
- Congdon, P. (2006), *Bayesian statistical modelling* (2nd ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Dam, M. M., & Yıldız, B. (2016). BRICS-TM ülkelerinde Ar-Ge ve inovasyonun ekonomik büyüme üzerine etkisi: Ekonometrik bir analiz. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 16(33), 220-236.
- Dhar, B. K., Shaturayev, J., Kurbonov, K., & Nazirjon, R. (2023). The causal nexus between innovation and economic growth: An OECD study. *Social Science Quarterly*, 104(4), 395-405. <https://doi.org/10.1111/ssqu.13261>
- Ding, C., Liu, C., Zheng, C., & Li, F. (2022). Digital Economy, technological innovation and high-quality economic development: Based on spatial effect and mediation effect. *Sustainability*, 14(1), 216, <https://doi.org/10.3390/su14010216>.
- Dobrzański, P., Bobowski, S., Chrysostome, E., Velinov, E., & Strouhal, J. (2021). Toward innovation-driven competitiveness across African countries: An analysis of efficiency of R&D expenditures. *Journal of Competitiveness*, 13(1), 5-22. <http://dx.doi.org/10.7441/joc.2021.01.01>
- Doğan, A. (2022a). Ulusal ve uluslararası teknoloji haber web siteleri kullanılabilirliğinin içerik analizi ile karşılaştırmalı incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(3), 1481-1501. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.1193673>
- Doğan, A. (2022b). Yönetim bilişim sistemleri öğrencilerinin alana yönelik algılarının ölçümü üzerine uygulamalı bir araştırma. *Journal of Politics, Economy and Management*, 5(2), 110-129.
- Doğan, A., Ablay, M. V., & Ağca, A. (2024). Investigation of the effects of technological development indicators on employment in Türkiye: A Bayesian approach. *Sosyoekonomi*, 32(62), 115-129. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2024.04.06>

Dubois, D., & Prade, H., (1988). *Possibility theory* (E.F. Harding, Trans.;1st ed.). Plenum Press. (Original work published 1985)

Ekici, O. (2005). *Bayesyen regresyon ve WinBUGS ile bir uygulama* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. İstanbul Üniversitesi.

Goldstein, M., & Wooff, D. (2007). *Bayes linear statistics: Theory and methods*. John Wiley & Sons Inc.

Greenberg, E. (2013), *Introduction to Bayesian econometrics* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Gündoğdu, S. (2016). *Balıklarda büyüme parametrelerinin Bayesyen istatistiksel yöntemle tahmini* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Çukurova Üniversitesi.

Hahn, E. D. (2014), *Bayesian methods for management and business: Pragmatic solutions for real problems*. John Wiley & Sons Inc.

Jabeen, G., Wang, D., Işık, C., Alvarado, R., & Ongan, S. (2024). Role of energy utilization intensity, technical development, economic openness, and foreign tourism in environmental sustainability. *Gondwana Research*, 127, 100-115. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.001>

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Sinha, A. K. (2024). Digital economy to improve the culture of industry 4.0: A study on features, implementation and challenges. *Green Technologies and Sustainability*, 2(2), 100083. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2024.100083>

Jiao, J., Song, J., & Ding, T. (2024). The impact of synergistic development of renewable energy and digital economy on energy intensity: Evidence from 33 countries. *Energy*, 295, 130997. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130997>

Judge, G. G., Griffiths, W. E., Hill, R. C., Lütkepohl, H., & Chao Lee, T. (1991). *The theory and practice of econometrics* (2nd ed.). John Wiley & Sons Inc.

Judijanto, L., Manu, C. M. A., Sitopu, J. W., Mangelep, N. O., & Hardiansyah, A. (2024). The impact of mathematics in science and technology development. *International Journal of Teaching and Learning*, 2(2), 451-458.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. *Forschungsunion*, Germany: Acatech.

Karadağ, Ö. (2011). *Bayesci hiyerarşik modeller* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Hacettepe Üniversitesi.

Karakostas, E. (2022). What determines the medium and high technology products exports: The case of Germany. *International Journal of Advanced Economics*, 4(3), 40-52. <https://doi.org/10.51594/ijae.v4i3.316>

Khan, T., & Emon, M. H. (2024). Exploring the potential of the blue economy: A systematic review of strategies for enhancing international business in Bangladesh in the context of indo-pacific region. *Review of Business and Economics Studies*, 12(2), 55-73. <https://doi.org/10.26794/2308-944X-2024-12-2-55-73>

Khan, Y., & Hassan, T. (2024). Promoting sustainable development: Evaluating the influence of natural resources, high-tech export and corruption on CO2 emissions in developing economies. *Resources Policy*, 88, 104511. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104511>

Kiani, T. A., Sabir, S., Qayyum, U., & Anjum, S. (2022). Estimating the effect of technological innovations on environmental degradation: Empirical evidence from selected ASEAN and SAARC countries. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 6529-6550. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02315-5>

King, R., Morgan, B., Gimenez, O., & Brooks, S. (2009). *Bayesian analysis for population ecology*. Chapman and Hall/CRC Press.

Koehrsen, W., (2018). Introduction to Bayesian linear regression, towards data science. <https://towardsdatascience.com/introduction-to-Bayesian-linear-regression-e66e60791ea7> (Erişim tarihi: 20 Kasım 2024).

Kozlova, E., & Didenko, N. (2022). Impact of technological development factors on the quality of life: a comparative analysis of E7 and G7. *International Journal for Quality Research*, 16(2), 625–642. <https://doi.org/10.24874/IJQR16.02-18>

Kruschke, J. K, Aguinis, H., & Joo, H. (2012). The time has come: Bayesian methods for data analysis in the organizational sciences. *Organizational Research Methods*, 15(4), 722–752. <https://doi.org/10.1177/1094428112457829>

Küçük, S. (2021). *Endüstri 4.0 kavramının ve sürecinin bilinirliği üzerine Karaman organize sanayi bölgesinde bir araştırma* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi.

Lee, J.J., & Chu, C. T. (2012). Bayesian clinical trials in action. *Statistics in Medicine*, 31(25), 2955–2972. <https://doi.org/10.1002/sim.5404>

Liu, Y., Xie, Y., & Zhong, K. (2024). Impact of digital economy on urban sustainable development: Evidence from Chinese cities. *Sustainable Development*, 32(1), 307–324. <https://doi.org/10.1002/sd.2656>

Mccarthy, M. A. (2007). *Bayesian methods for ecology*. Cambridge University Press.

Mehmood, K., Iftikhar, Y., & Khan, A. N. (2022). Assessing eco technological innovation efficiency using DEA approach: Insights from the OECD countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24, 3273–3286. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02378-y>

Mora Apablaza, L., & Navarrete, C. (2022). Patents as indicators of the technological position of countries on a global level?. *Scientometrics*, 127, 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04268-y>

Panagiotidis, T., Papapanagiotou, G., & Stengos, T. (2024). A Bayesian approach for the determinants of bitcoin returns. *International Review of Financial Analysis*, 91, 103038. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.103038>

Petralia, S., Balland, P. A., & Morrison, A. (2017). Climbing the ladder of technological development. *Research Policy*, 46(5), 956–969. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.012>

Richardson, S., & Best, N. (2003). Bayesian hierarchical models in ecological studies of health–environment effects. *Environmetrics Society*, 14(2), 129–147. <https://doi.org/10.1002/env.571>

Scheines, R., Hoijtink, H., & Boomsma, A. (1999). Bayesian estimation and testing of structural equation models. *Psychometrika*, 64(1), 37–52.

Shah, N., Zehri, A. W., Saraih, U. N., Abdelwahed, N. A. A., & Soomro, B. A. (2024). The role of digital technology and digital innovation towards firm performance in a digital economy. *Kybernetes*, 53(2), 620–644. <https://doi.org/10.1108/K-01-2023-0124>

Shodiev, J., & Zarina, R. (2024). Digital economy as a factor of transformation of economic systems. *International Journal of Recently Scientific Researcher's Theory*, 2(1), 162–166.

Sinha, M., & Sengupta, P. P. (2022). FDI inflow, ICT expansion and economic growth: An empirical study on asia-pacific developing countries. *Global Business Review* 23(3), 804–821. <https://doi.org/10.1177/0972150919873839>

Sojoodi, S., & Baghbanpour, J. (2024). The relationship between high-tech industries exports and GDP growth in the selected developing and developed countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(1), 2073–2095. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01174-3>

Sony, M. (2020). Pros and cons of implementing industry 4.0 for the organizations: A review and synthesis of evidence. *Production & Manufacturing Research*, 8(1), 244–272. <https://doi.org/10.1080/21693277.2020.1781705>

Şeker, A. (2019). Teknolojik gelişme ve yüksek teknoloji ihracatının ekonomik karmaşıklık endeksi üzerindeki etkisi: Türkiye örneği. *Yönetim ve Ekonomi*, 26(2), 377-395. <https://doi.org/10.18657/yonveek.581397>

Tekin, A., & Demirel, O. (2022). Bilimsel ve teknolojik performansın ekonomik büyümeye etkisi: OECD ülkeleri üzerine bir panel veri analizi. *Sosyoekonomi*, 30(51), 353-364. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2022.01.17>

Temiz, R. (2017). *Bulanık Bayesci hipotez testlerinin karşılaştırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ege Üniversitesi.

The World Bank. (2023, August). *The World Bank Open Data*. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

Tuskan, Y., & Erzin, Y. (2024). Application of Monte Carlo simulation technique for slopes stabilized with piles. *Afyon Kocatepe University – Journal of Science and Engineering*. 24(1), 117-125. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1287644>

Uyar, Ş. (2020). *Teknoloji transferi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Türkiye örneği (1984-2018)* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.

Westphal, L. E. (2002). Technology strategies for economic development in a fast changing global economy. *Economics of Innovation and New Technology*, 11(4-5), 275-320. <https://doi.org/10.1080/10438590200000002>

Wikipedia, (2025). An essay towards solving a problem in the doctrine of chances, https://en.wikipedia.org/wiki/An_Essay_Towards_Solving_a_Problem_in_the_Doctrine_of_Chances (Erişim tarihi: 20 Ocak 2025).

Yurtçu, M. (2018). *Parametrik olmayan Bayes yöntemiyle ortak değişkenlere göre yapılan test eşitlemelerinin karşılaştırılması* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi.

Zainab, T., Wani, Z. A., & Bhat, M. A. (2018). Scientific research in relation to Gross Domestic Product (GDP) a comparative study of China and India. *5th International Symposium on Emerging Trends and Technologies in Libraries and Information Services (ETTLIS)* (pp. 328-330). IEEE.

Zhang, W., & Yang, J. (2015). Forecasting natural gas consumption in China by Bayesian model averaging. *Energy Reports*, 1, 216–220. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2015.11.001>

Extended Summary

Modeling and Forecasting the Impact of Türkiye's Technological Development on Economic Growth

Technological development has profoundly impacted state policies and people's lifestyles, shaping the economic, cultural, political, and social standards of societies. Although emerging at different times, technological advancements have consistently left their mark on each era, driving shifts in the economic and social structures of their time (Sinha & Sengupta, 2022). Consequently, State policies have increasingly started to align with technological progress. In countries that successfully keep up with technology and adapt to innovations, technological advancements continue to progress under the guidance of science, consistently renewing and accelerating the pace of adaptation. Many researchers agree that sustainable economic growth can be achieved when policymakers effectively and efficiently integrate global technological innovations into their country's unique conditions, maximizing the use of available resources. As such, a strong correlation exists between a country's capacity for technological innovation and its economic sustainability. In other words, a nation's ability to innovate in technology and evolve in response to scientific and technological advancements is seen as a key indicator of its economic growth. This study, therefore, examines the relationship between economic growth and technological innovation and development.

To model this relationship, gross domestic product (GDP) was used as the dependent variable, while the number of patent applications (PA) and the number of articles published in scientific and technical journals (STJA) were used as independent variables. The impact of technological innovation and development on economic growth in Türkiye was analyzed using data from the period 1996-2020. The dataset required for estimating the parameters of these variables was obtained from the World Bank's official data site.

The increase in patent applications and the number of articles published in scientific and technical journals, as examined in this research, is crucial for countries aiming to keep pace with technological development trends. Patent applications and publications in scientific and technical journals are widely regarded as indicators of technological advancement and innovation-driven growth (Algan vd., 2017; Cavdar & Aydın, 2015; Zainab vd., 2018). Furthermore, the capacity for technological development and innovation in a country is often directly influenced by contributions to these variables (Şeker, 2019; Cavdar & Aydın, 2015). In this context, the study aims to measure how Türkiye's investments in technological innovation and scientific research affect technological progress and economic growth. From a technological development perspective, an increase in GDP suggests that more resources are being allocated to research and development, innovative projects, and technological advancements. The rise in patent applications in Türkiye suggests that both domestic and foreign companies are prioritizing technological development within the country and are actively pursuing new inventions. This growth in patent applications serves as a key indicator of the commercialization of technological innovations and their integration into the industry. Similarly, the increase in articles published in scientific and technical journals in Türkiye reflects the intensification of research activities and the scientific community's expanding international recognition encouraging signs of technological progress. This is a positive step toward technological progress. In summary, these variables are essential for understanding Türkiye's technological growth and potential and provide strategic insights to guide the country toward further advancements in technology and innovation.

In this study, both a Bayesian approach and classical regression analysis were used to assess the impact of technological indicators on economic development. The Bayesian method was implemented using the Monte Carlo simulation technique and the WinBUGS software, enabling the estimation of parameter distributions for the variables in the final probability model. Additionally, for comparison, classical multiple linear regression analysis was also conducted. The results indicated that the number of patent applications and the number of articles published in scientific and technical journals have a positive effect on technological innovation and development, which in turn impacts economic growth in Türkiye, a finding consistent with numerous studies in the literature. (Kiani vd., 2022; Mehmood vd., 2022; Mora-Apablaza & Navarrete, 2022; Cavdar & Aydın, 2015; Zainab vd., 2018).

In conclusion, we find it important to highlight the differences between our research and the existing literature by examining both national and international studies included or excluded from this analysis. Our findings indicate that our research diverges from the existing literature in terms of both the variables used and the methodology employed. Studies examined from two categorical perspectives—variables and methods—typically analyze a range of variables, including gross domestic product, patent numbers, high-technology product exports, foreign investments, capital investment, urbanization, trade openness, renewable energy consumption, the human development index, the Gini index, the international poverty line, the consumer price index, technical cooperation grants, the number of R&D technicians, design and trademark counts, and patent citations. Methodologically, various analyses are employed in these studies, including Gregory-Hansen cointegration, Johansen cointegration, Granger causality, unit root tests, Dickey-Fuller tests, Student's t-test, Ljung-Box Q tests, the autoregressive distributed lag model (ARDL), the least squares method, and data envelopment analysis, among others. To the best of our knowledge, however, no studies apart from our own (Doğan et al., 2024; Ablay & Doğan, 2024) examine the effects of technological development indicators on GDP using our specific combination of methods and variables. Furthermore, while most studies base their inferences on available data, in our study, we generated 1,500,000 new data points from the existing dataset using the WinBUGS program and Monte Carlo simulation. This methodological approach significantly expanded the sample size, enabling us to make more informed decisions through the Bayesian method employed. Finally, patent applications and publications in scientific and technical journals are significant indicators of Turkey's scientific and technological progress. These variables play crucial roles, such as protecting and fostering innovation, advancing the scientific field, facilitating new inventions, enhancing global competitiveness, improving the quality of research and education, and promoting cooperation both domestically and internationally. In light of this, we anticipate that our study will make a meaningful contribution to the existing body of literature.