

PAPER DETAILS

TITLE: Türkiye'de İktisadi Büyümenin Kaynakları: Makine Öğrenmesi İle Karar Ağacı Bulguları

AUTHORS: Cihan ÇILGIN,Asli Seda KURT

PAGES: 61-80

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2169969>

Türkiye’de İktisadi Büyümenin Kaynakları: Makine Öğrenmesi İle Karar Ağacı Bulguları^a

Cihan Çılgın^{b, c}, Aslı Seda Kurt^d

Özet

İktisadi büyüme, bir ulus için tüm ekonomik faaliyetlerin nihai amacı olarak kabul edilmektedir. Bu önemi nedeniyle gerek ulusal politikaların başarısının değerlendirilmesinde gerekse uluslararası karşılaştırmalarda ilk akla gelen ekonomik gösterge durumundadır. Son dönemde çeşitli makine öğrenmesi yaklaşımları ve yapay sinir ağları modelleri de bu alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, literatürden farklı olarak karar ağacı modellemesini kullanarak iktisadi büyümenin kaynaklarını ortaya koymaktır. Bu bağlamda, literatürde büyümeye kaynaklık ettiği kabul gören tasarruf, sermaye birikimi, emek gücü, yenilik, kamu harcamaları, dış ticaret, beşeri sermaye, demografik unsurlar, sanayileşme, kurumsal faktörler gibi değişkenler analize dâhil edilmiştir. Çalışmanın bulguları, iktisadi büyüme için kurallar ve yüksek büyümenin sağlanmasına yönelik olarak politika yapıcılara referans olabilecek kanıtlar sunmaktadır. Çalışmanın bulguları, Türkiye Ekonomisinde büyümeyi teşvik etmede tasarruf, inovasyon, ihracat ve emeğin önemini ortaya koymaktadır. İktisadi büyüme için elde edilen kurallar, yüksek büyümenin sağlanmasına yönelik olarak politika yapıcılara referans olabilecek kanıtlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler

İktisadi Büyüme
Büyümenin Belirleyenleri
Makine Öğrenmesi
Karar Ağacı

Makale Hakkında

Geliş Tarihi: 01.01.2022
Kabul Tarihi: 21.06.2022
Doi: 10.18026/cbayarsos.1052101

The Determinants of Economic Growth in Turkey: Evidence from Decision Tree with Machine Learning

Abstract

Economic growth is accepted as the ultimate goal of all economic activities for a nation. Because of this importance, it is the first economic indicator that comes to mind both in evaluating the success of national policies and in international comparisons. Recently, various machine learning approaches and artificial neural network models have been used in this field. The aim of this study is to reveal the sources of economic growth by using decision tree modeling, different from the literature. In this context, variables accepted as sources of growth in the literature such as savings, capital accumulation, labor, innovation, public expenditures, foreign trade, human capital, demographic factors, industrialization, and institutional factors are included in the analysis. The findings of the study present rules for economic growth and provide evidence that can be a reference to policy makers for high growth rates. The findings of the study reveal the importance of savings, innovation, exports and labor in stimulating growth in the Turkish Economy. The rules obtained for economic growth provide evidence that can be a reference for policy makers to ensure high growth.

Keywords

Economic Growth
Determinants of Growth
Machine Learning
Decision Tree

About Article

Received: 01.01.2022
Accepted: 21.06.2022
Doi: 10.18026/cbayarsos.1052101

^a Bu çalışma Türkiye Ekonomi Kurumu tarafından 09-11 Nisan 2021 tarihleri arasında düzenlenen 7th International Conference (ICE-TEA Conference) adlı konferansta sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

^b İletişim Yazarı: cihancilgin@ibu.edu.tr

^c Araş. Gör., Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gerede Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, ORCID: 0000-0002-8983-118X.

^d Dr. Öğr. Üyesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ORCID: 0000-0003-0356-7443.

Giriş

İktisadi ya da ekonomik büyüme, iktisadi faaliyetlerin nihai amacı olup ulusal politikaların başarısının değerlendirilmesi ve uluslararası karşılaştırmalarda kullanımı açısından en temel ekonomik göstergelerden birisidir. Bu önemi nedeniyle de her dönemde araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Ekonomik büyüme, gayri safi yurt içi hasılanın (GSYİH) üretim faktörlerinin artışı, verimlilik artışı, teknolojik gelişme vb. nedenlerle bir dönemden diğer döneme artışı olarak tanımlanmaktadır. GSYİH artışının reel bir artış olması gerekir. Çünkü fiyatlar genel düzeyinin yükseldiği bir ortamda GSYİH artışı üretim artışından değil fiyat artışlarından da kaynaklanabilir ki bu durumda GSYİH artışı nominaldır. Dolayısıyla ülkenin üretken kapasitesinin artışını yansıtmaz. Diğer yandan özellikle uluslararası karşılaştırmalarda bu gösterge kullanılacaksa kişi başına düşen GSYİH verisi daha anlamlı olacaktır. Bunun nedeni, aynı GSYİH düzeyine sahip olan ülkelerin farklı nüfus büyüklüklerine sahip olabilmeleri ve bunun sonucunda nüfusu daha az olanın daha yüksek bir refah seviyesine sahip olabilmeleridir. Yine gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkeler için kalkınma amacının büyümeyle nispetle daha öncelikli olduğu da ifade edilebilir. Bu ülkelerde GSYİH artışı ile birlikte sosyo-ekonomik açıdan niteliksel bir iyileşme de gözlemlenmektedir ya da gözlemlenmelidir. Son yıllarda ekonomik faaliyetlerin de katkıda bulunduğu çevresel tahribatın ulaştığı boyut, büyümeye (degrowth) olgusunu tartışılır kılmış ve ekonomi politikalarının amacının büyüme olmaması gerektiği ifade edilmeye başlanmıştır. Ancak koronavirüs pandemisinin etkisiyle tüm dünya ekonomilerinin ve dünya ticaretinin daraldığı; üretimin, talebin ve istihdamın azaldığı şu günlerde büyüme yeniden öncelikli makroekonomik hedef haline gelmiştir demek yanlış olmayacaktır.

Kısacası ekonomik büyüme hükümetler, yerli ve yabancı yatırımcılar ile her kesimden çalışanın hatta işsizlerin ilgiyle izlediği önemli bir gösterge olmayı sürdürmektedir. Dolayısıyla ekonomik büyümenin kaynakları da teorik ve ampirik literatürün en çok üzerinde yoğunlaştığı konular arasındaki yerini korumaktadır. Bu konuda tam bir görüş birliği bulunmamakta; farklı ekoller farklı büyüklükleri ön plana koymaktadırlar. Teori öncesi ekonomik görüşlerde büyüme kavramı bugünkü anlamıyla yer bulmasa da Merkantilistler tarafından zenginliğin kaynağı kıymetli madenler (altın ve gümüş) olarak görülmüştür. Ekonomi bilimindeki ilk ekol olduğu düşünülen Fizyokratlar ise zenginliği tarımsal üretimle bağdaştırmışlardır. İktisadın teorileşme sürecinde ise Klasik ekol temsilcileri dış ticarete özel bir önem atfetmişler ve zenginliğin kaynağının ulusların sahip olduğu emek gücü olduğunu ifade etmişlerdir. Klasik, Marksist ve sonrasında Neo-Klasik (Solow, 1956; 1957) ekoller emek gücüne, sermaye birikimine ve teknolojiye (dışsal olarak) dikkat çekmişlerdir. Keynes ve takipçileri tasarrufların ve yatırımların önemine vurgu yaparken (Harrod, 1948; Domar, 1947); Schumpeter (1939) ve evrimci ekol (Aghion ve Howitt, 1992) yeniliğin altını çizmişlerdir. İçsel büyüme literatüründe ise beşeri sermaye, coğrafi unsurlar ile doğrudan yabancı yatırımlar (Romer, 1986; 1990 ve Lucas, 1988) ve kamu harcamaları (Barro, 1990) büyümenin temel belirleyenleri olarak ele alınmıştır. Bu noktada Kurumsalcıların (Acemoğlu ve Robinson, 2012) da coğrafi unsurların önemini belirttiğini ve bunun dışında sanayileşme ve kurumsal faktörleri (hukuk, sağlık, kültür vb.) de vurguladıkları söylenebilir. Yine Kurumsalcılar ile birlikte Yapısalcılar, ekonomik büyüme için en temel unsurlardan birinin makroekonomik istikrar (ulusal paranın değeri, fiyat istikrarı, makul işsizlik oranı vb.) olduğunu ifade etmişlerdir. Snowdon ve Vane (2005) ekonomik büyümenin yaklaşık ve temel kaynaklarını şu şekilde özetlemişlerdir (Snowdon ve Vane, 2005:

, s. 634): Dışsal (coğrafi unsurlar), yarı içsel (uluslararası ekonomik entegrasyon ve kurumlar) ve içsel (faktör donatımı ve verimlilik) kaynaklar.

Bu çalışmada tüm bu teorilerin altını çizdiği değişkenler kullanılarak ekonomik büyümenin kaynakları, makine öğrenmesi ile karar ağacı yardımıyla analiz edilmektedir. Bu bağlamda, izleyen bölümde literatür değerlendirilerek bu çalışmanın literatür içindeki yeri ortaya konulacaktır. Üçüncü bölümde çalışmanın yöntemi tanıtılacak ve takip eden bölümde elde edilen bulgular sunulacaktır. Sonuç bölümünde ise bulgular değerlendirilerek politika çıkarımlarında bulunulacak ve gelecek çalışmalar için tespitler ifade edilecektir.

Ampirik Literatür

Ekonomik büyüme, her gelişmişlik düzeyinden ülkelerin öncelikli politika amaçlarından biri olduğundan her dönem ilgi çeken bir araştırma konusu olmuştur. Dolayısıyla bu konu ile ilgili literatür oldukça geniştir. Burada iktisadi büyümenin kaynaklarını araştıran ve burada elde edilen sonuçlarla kıyaslanabilir olması açısından nispeten daha güncel olan çalışmalara değinilecektir.

Dünya ekonomilerini konu edinen çalışmalardan birinde Önal (2009) sanayileşme perspektifinden büyümenin belirleyenlerini tartışmaktadır. Ali ve Sardar (2020) Güney Asya ülkeleri için ekonomik büyümenin makroekonomik ve sosyoekonomik belirleyenlerini havuzlanmış ortalama grup otoregresif gecikmesi dağıtılmış model ile araştırmışlardır. Araştırmanın bulgularına göre; elektriğe erişim, özel sektöre verilen krediler ve doğrudan yabancı yatırımlar büyümenin önemli belirleyenlerindendir. Astuti ve Udjanto (2020) Endonezya, Malezya, Filipinler ve Tayland için ekonomik büyümenin belirleyenlerini panel veri analizi ile araştırmışlar ve faiz oranlarındaki düşüşün büyümeyi olumlu yönde etkilediği; fakat uluslararası ticaretin büyüme açısından bu ülkelerde önemli bir belirleyen olmadığı yönünde bulgulara ulaşmışlardır. Rahman, Ismail ve Ridzuan (2020) borçlu ülkelere ekonomik büyümenin belirleyenlerini sistematik incelemeler için tercih edilen raporlama öğeleri ve meta analizleri ile araştırmışlar ve nüfus artışı, fiziksel sermaye, beşeri sermaye, enflasyon oranı ve ticari açıklığın temel belirleyenler olduğu şeklinde kanıtlar elde etmişlerdir. Türkiye ekonomisine ilişkin olarak da geniş bir literatür bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bir kısmı Türkiye'nin de içinde bulunduğu panel veri setleri ile yürütülen çalışmalardır. Kurumlar ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi, genelleştirilmiş momentler yöntemini kullanarak 2002-2018 dönemi verileriyle oldukça geniş bir ülke grubu için araştıran Doğanay ve Değer (2020), kurumların ekonomik büyümede çok önemli bir rolü olduğunu ortaya koymuşlardır. Mercan (2014) panel veri analizi ile 1990-2012 döneminde Orta Asya Ülkeleri ile Türkiye'de kamu harcamaları, ihracat ve özel tüketim harcamalarının büyümeye olumlu katkı yaptığını belirlemiştir. Çalışmada ayrıca 2008 küresel krizinin de büyüme üzerinde negatif ve istatistiksel açıdan anlamlı bir etkisi olduğu yönünde kanıtlara ulaşılmıştır. Elverdi ve Atik (2021) çalışmalarında yenilik ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi yapısal eşitlik modellemesiyle Türkiye'nin de dâhil olduğu 127 ülke için araştırmışlardır. Çalışmanın bulguları, yeniliğin büyümeyi güçlü bir şekilde olumlu yönde etkilediği yönündedir. Bulut ve Doğan (2020) 2007-2018 dönemi verileriyle Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika ve Türkiye (BRICS-T) için panel eşbütünleşme analizi ile rekabet gücü büyüme ilişkisini araştırmış ve rekabet ile büyüme arasında aynı yönlü bir ilişkinin varlığına dair kanıtlara ulaşmışlardır.

Sadece Türkiye ekonomisini konu edinen çalışmaların sayısı da az değildir. İktisadi büyüme sorunu, genellikle bir uzun vade sorunu olarak kabul edilmekte ve bu nedenle, makroekonomik anlamda daha çok arz cephesince belirlenmektedir (Kibritçioğlu, 1998: 208). Buna karşın, Karşıyakalı (2008) 1980-2006 döneminde Türkiye’de büyümenin arz ve talep yönlü kaynaklarını araştırmış ve özellikle yurt içi nihai talep artışının belirleyiciliği yönünde kanıtlara ulaşmıştır. Göçer (2013) 1992-2012 dönemi çeyrekli verileriyle Türkiye açısından ihracatın ve doğrudan yabancı yatırımların büyüme üzerindeki etkisini sınır testi yardımıyla araştırmış ve ihracatın olumlu ve istatistiksel olarak anlamlı; doğrudan yabancı yatırımların ise olumlu fakat istatistiksel olarak anlamsız bir etkisi olduğu yönünde bulgulara ulaşmıştır. Cinel (2014) Türkiye’de 1980-2011 döneminde sermaye birikimi, teknolojik gelişme, nüfus artışı, istihdam, beşeri sermaye, gelir dağılımı, enflasyon, işsizlik ve ithalata dayalı ihracat değerlerini büyümenin temel belirleyenleri olarak değerlendirmiştir. Artan ve Hayaloğlu (2014), Türkiye’de 1972-2009 dönemi için eşbütünleşme analizini kullanarak kurumsal faktörlerin büyüme üzerindeki etkisini araştırmışlar ve uzun dönemde politik özgürlüklerin büyümeyi olumlu yönde etkilediği yönünde bulgulara ulaşmışlardır. Türkiye’de sanayileşme ile büyüme arasındaki ilişkiye odaklanan çalışmalarında Tunalı ve Erbelet (2017) 2005-2015 dönemi verilerini ve en küçük kareler ile Granger nedensellik analizlerini kullanarak sanayi üretiminin büyümeyi olumlu etkilediğini; sanayi üretiminden büyümeye doğru bir nedensellik olduğunu belirlemişlerdir. Alper (2019), Türkiye için 1974-2017 döneminde ekonomik büyümenin belirleyenlerini tam uyarlanmış en küçük kareler ve dinamik en küçük kareler yöntemleriyle araştırmıştır. Bu çalışmanın bulgularına göre; finansal gelişme ile ticari ve finansal açıklık büyümeyi olumlu yönde, enflasyon ise olumsuz yönde etkilemektedir.

Büyümenin kaynakları literatürde daha çok zaman serisi, panel veri ve verimlilik analizleri ile araştırılmıştır. Son yıllarda makine öğrenmesi ve yapay sinir ağlarından yararlanılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Basuchoudhary, Bang ve Sen (2017)’e göre makine öğrenmesi teknikleri, karmaşık ekonometrik tekniklerle ulaşılması mümkün olmayan ve politika yapıcılara yardımcı olabilecek kolayca yorumlanabilir sonuçlar sunmaktadır (Basuchoudhary, Bang ve Sen, 2017: 1). Bu çalışmanın bulgularına göre, doğrudan yabancı yatırımlar ile finanse edilen ticaret açıkları, finans hesabının serbestleştirilmesi, kurumsal bir gösterge olarak demokrasi büyümeyi olumlu yönde etkilerken içsel büyüme modelleri hemen tüm ülkelerde büyümeyi açıklamakta başarılıdır; GSYİH dalgalanmalarını azaltmak ülkeye özgü politikalar gerektirmektedir ve maliye politikası büyüme amacına ulaşmada para politikasına göre daha etkilidir (Basuchoudhary, Bang ve Sen, 2017, s. 76). Sokolov-Mladenović vd. (2016) çalışmalarında ticaret, ihracat ve ithalat parametreleri ile ekonomik büyümenin artırılabilirliği tezini yapay sinir ağları ve aşırı öğrenme makinesi ile analiz etmişler ve aşırı öğrenme makinesinin büyüme oranını tahmin etmede etkin bir şekilde kullanılabileceği yönünde bulgulara ulaşmışlardır. Yine yöntemsel açıdan benzer bir çalışmada Milačić vd. (2017) büyüme oranını tahmin etmede aşırı öğrenme makinesi ve yapay sinir ağları geliştirmiş ve bu yöntemlerin etkin bir büyüme oranı tahmininde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bahsi geçen çalışmada GSYİH’nin bileşenleri olan tarım, sanayi, imalat sanayi ve hizmetler sektörlerine ilişkin veriler girdi olarak kullanılmıştır. Cava Adası’nın Endonezya ekonomisine katkısının karar ağacı yöntemiyle incelendiği bir başka çalışmada Syaraswati, Slamet ve Winarno (2017) bu yöntemin tahmin başarısına dikkat çekmişlerdir. Sanusi, Moosin ve Kusairi (2020), Malezya’nın GSYİH tahmini için yapay sinir ağları modelinden yararlanmışlardır. İhracat, ithalat, özel tüketim, kamu harcamaları, tüketici fiyat endeksi, enflasyon oranı, doğrudan yabancı yatırımlar ve para arzı değişkenlerinin kullanıldığı çalışmanın bulguları,

yapay sinir ağları modelinin GSYİH tahmini için uygunluğunu destekler niteliktedir. Bu örneklerden anlaşılacağı üzere makine öğrenmesi yöntemleri GSYİH tahmini için etkin sonuçlar vermekte ve kullanımı uluslararası literatürde yaygınlaşmaktadır. Yine görüldüğü gibi, bu yöntem Türkiye ekonomisine ilişkin analizler açısından oldukça yenidir. İşte bu çalışmanın literatüre katkısı tam da bu noktada ortaya çıkmaktadır.

Yöntem ve Veri Seti

Yöntem

Veri madenciliği, son yıllarda bilgi endüstrisinde ve bir bütün olarak toplumda, büyük miktarda verinin geniş erişilebilirliği ve bu tür verileri yararlı bilgiye dönüştürme ihtiyacından dolayı büyük ilgi görmektedir (Han, Kamber ve Pei, 2011). Veri madenciliği ile birlikte makine öğrenmesi yaklaşımları büyük veri havuzlarındaki yararlı bilgileri otomatik olarak keşfetme sürecine odaklanmak ve makine öğrenmesi algoritmaları ile keşfedilmemiş, yeni ve faydalı modeller bulmak için büyük veritabanlarını araştırmak için kullanılmaktadırlar (Tan, Steinbach ve Kumar, 2016).

Özellikle basit yapısı ve sonuçlarının oldukça rahat anlaşılabilir olması ile birlikte karar ağacı yöntemleri veri madenciliğinde oldukça sık kullanılan bir yaklaşım haline gelmiştir. Karar ağacı algoritmalarının yapısı oldukça basit olmakla birlikte oldukça güçlüdür. Karar ağaçları, sınıflandırma sürecinin, ağaç benzeri bir yapıda düzenlenmiş, değişkenler üzerinde bir dizi hiyerarşik kararın kullanılmasıyla modellendiği bir sınıflandırma metodolojisidir (Aggarwal, 2015). Ayrıca karar ağaçları regresyon problemlerinde uygulanabilecekleri gibi bu çalışmada olduğu gibi sınıflandırma problemlerinde de sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Karar ağacı öğrenme algoritmaları, her dal düğümünün bir dizi alternatif arasında bir seçimi temsil ettiği ve her bir yaprak düğümünün bir sınıflandırma veya kararı temsil ettiği bir ağaçtır. Karar ağaçları genellikle karar verme sürecinde bilginin keşfedilmesi amacı ile kullanılmaktadırlar. Özellikle, Sinir Ağı gibi kara kutu tipi algoritmaların aksine karar ağaçlarının beyaz kutu tipinde bir makine öğrenmesi algoritması olması sonuçların değerlendirilmesinde ve sonuçların meydana gelme örüntülerinin (karar verme mantığının) keşfedilmesinde oldukça faydalıdır. Karar ağacı, kullanıcıların eylemde bulunabileceği bir kök düğüm ile başlamakta ve bu düğümden, kullanıcılar her düğümü karar ağacı öğrenme algoritmasına göre özyinelemeli olarak ayırmaktadır (Singh ve Gupta, 2014). Günümüzde ID3, C4.5, C5, CART (Classification and Regression Trees), Rasgele Orman (Random Forest) vb. gibi birçok karar ağacı algoritması mevcut olmakla birlikte bu algoritmaların her biri farklı amaçlarla farklı nitelikteki veri setlerine uygulanabilmektedirler. Bu çalışmada da hem sürekli değişkenler ile rahatlıkla çalışabilen hem de regresyon problemlerinde de kullanabilen CART (Breiman vd., 1984) yöntemi tercih edilmiştir.

CART, tahmin değişkenlerinin değerlerine dayalı olarak bir sonuç değişkeni için tahmin kuralları oluşturmak amacıyla kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Lojistik regresyon gibi geleneksel yaklaşımlara benzer şekilde, CART analizi doğru tahmini aramakta ve karar denklemlerini kullanmaktadır. CART'ın hiyerarşik yapısı ve esnekliği, onu geleneksel yöntemlerden önemli şekilde ayırmaktadır. CART, her bir tahmin değişkenini yüksek ve düşük gruplara ayırmanın olası tüm yollarını sistematik olarak aramakta (örneğin, altı yaşından büyük veya altı yaş) ve araştırılan vakaları araştırılmamış vakalardan en iyi şekilde ayıran ayrımı seçmektedir (Johnson, Brown ve Wells, 2002). CART prosedürü "ikili yinelemeli

bölümleme" gerçekleştirir. "İkili bölümleme" terimi, ana düğümlerin her zaman iki alt düğüme bölündüğü ve "özyinelemeli" terimi ise her bir çocuk düğümleri bir üst düğüm olarak ele alarak işlemin tekrarlandığı anlamına gelmektedir. Bu işlem, daha fazla bölümleme imkânsız olana kadar veya kullanıcı tarafından belirlenen bazı kriterlerle sınırlanana kadar tekrar edilmektedir (Waheed vd., 2006). Başka bir ifade ile her bir düğümdaki tüm öğeler aynı sınıftaysa, düğüm bir yaprak olarak etiketlenmekte ve bölme yapılmamaktadır (Rutkowski vd., 2014). Bir düğüm verisi ek alt düğümlere bölünemediğinde, buna terminal düğümleri veya yaprak düğüm adı verilmektedir. İlk terminal düğümleri oluşturulduktan sonra, algoritma, tüm veriler terminal düğümleri olarak kategorize edilene kadar her veri kümesi için prosedürü tekrarlamaktadır (Stenberg ve Phillip, 1995). Karar ağaçlarının sınıflandırma performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi de bölünme kriterinin belirlenmesidir. CART kapsamında birçok ikili bölünme kriteri mevcut olmakla birlikte sıklıkla tercih edilen, Denklem 1 ve Denklem 2’de verilen, Gini ve Entropi bölünme kriterleri bu çalışma kapsamında da ayrı ayrı kullanılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

$$Entropi = \sum p(i/t) \log_2 p(i/t) \quad (1)$$

$$Gini Endeksi = 1 - \sum [p(i/t)]^2 \quad (2)$$

Çalışmada ayrıca oluşturulan kuralların başarısını ölçmek amacı ile doğruluk metriği kullanılmıştır. Doğruluk değerinin hesaplanmasında kullanılan ve makine öğrenimi alanında ve özellikle sınıflandırma yaklaşımlarında, hata matrisi olarak da bilinen karışıklık matrisi (Confusion Matrix) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Karışıklık Matrisi

	Tahmin Edilen Sınıf	
	C1	C2
Mevcut Sınıf	C1	T_pos
	C2	F_pos
		T_neg
		F_neg

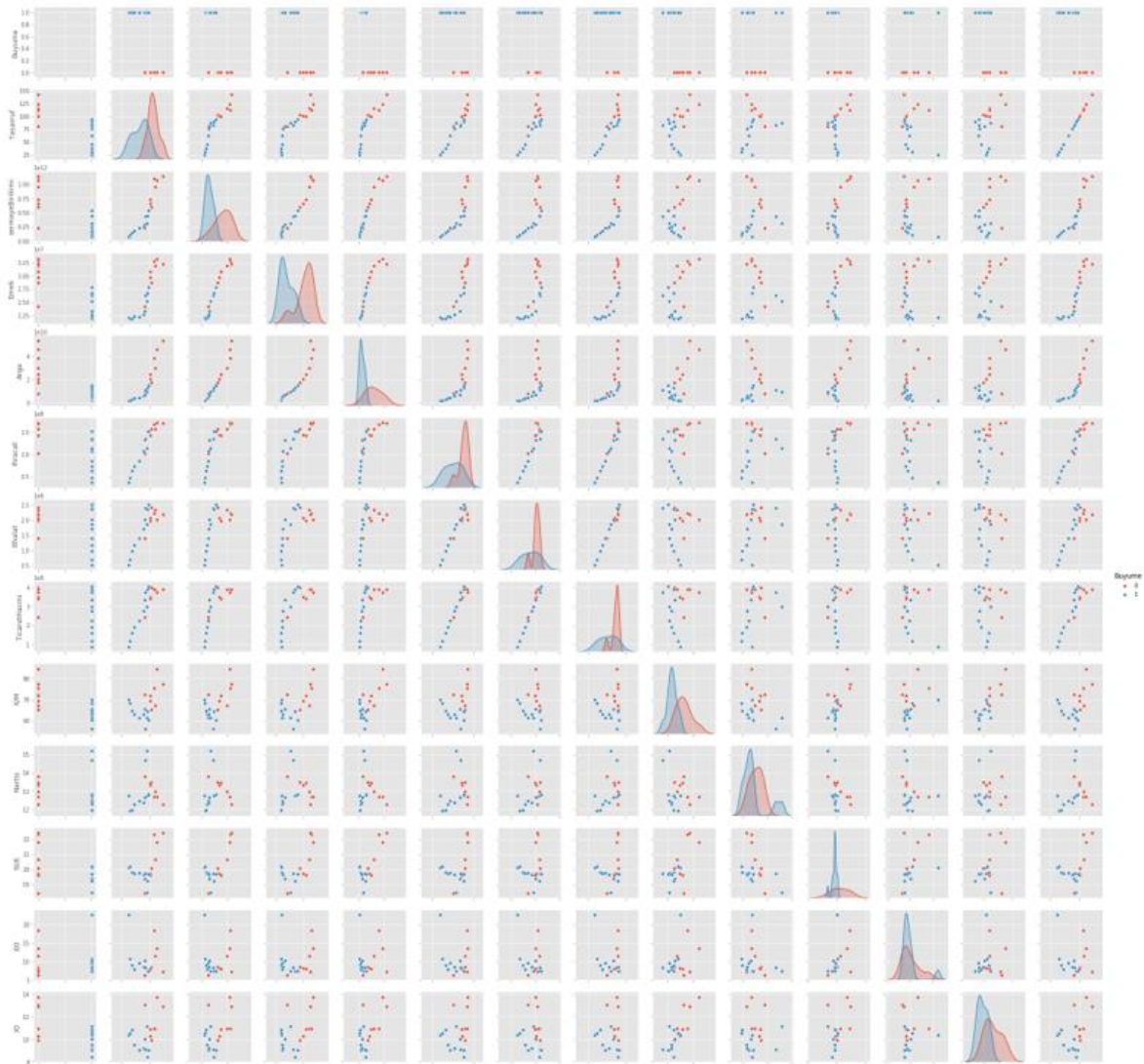
Doğruluk (Accuracy) değeri ise Tablo 1 kapsamında verilen karşılıklı tahmin değeri sayıları ile Denklem 3 vasıtası ile hesaplanabilmektedir. Karışıklık matrisi ve dolayısıyla Denklem 3, karar ağacını sınıflandırma sonucu tahminlerini ve gerçek değerlerin karşılaştırılmasına olanak tanımaktadır. Böylelikle elde edilen karar ağacı sınıflandırma sonuçlarının test edilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca veri setinin test amacı ile ayrılan belirli bir orandaki kısmı ile de karar ağacı oluşturulurken kullanılmayan veriler üzerinde test sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek modelin performansı ölçülebilmektedir.

$$Doğruluk = \frac{T_{pos} + T_{neg}}{T_{pos} + F_{pos} + T_{neg} + F_{neg}} \quad (3)$$

Çalışmanın ilerleyen kısımlarında da bahsedileceği üzere Denklem 3 vasıtasıyla hesaplanan doğruluk değeri kapsamında olası farklı kombinasyonların yer aldığı değişken seti ile oluşturulan her bir veri seti için belirli bir doğruluk değerinin üzerindeki test sınıflandırma sonuçları çalışma bulgularına dâhil edilmiştir.

Veri Seti

Çalışmada Türkiye'nin 2002 ve 2020 yılları arasında yer alan on üç farklı değişkene ait veriler kullanılmıştır. Yıllık olan bu veriler, Dünya Bankası (DB), Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veritabanlarından sağlanmıştır. İktisadi büyümenin uzun döneme ilişkin olduğu dikkate alındığında söz konusu zaman aralığı kısa kalmaktadır. Ancak, Türkiye Ekonomisi açısından 2002-2020 döneminde genişleme dönemleri de daralma dönemleri de yaşanmıştır. Bu bağlamda, ele alınan dönemin bir iş çevrimi dalgasının asgari iniş-çıkışlarını içerdiğini söylemek mümkündür. Çeşitli kaynaklardan elde edilen ve çalışma kapsamında kullanılan veri seti çalışma sonunda yer alan Ek 1'de sunulmaktadır. Ek 1'de detaylı bir şekilde görülmekte olduğu üzere kullanılan büyüme değişkeni model kapsamında hedef nitelik olarak kullanırken geriye kalan on iki değişkene ise bağımsız değişken olarak hedef niteliğin (bağımlı değişkenin) sınıflandırılmasında kullanılmıştır.



Şekil 1. Veri setinde kullanılan değişkenlerin sınıf dağılımları

Belirtilen yıllar arasında tasarruf miktarı, sermaye birikimi, emek miktarı, Ar-Ge harcamaları, ihracat, ithalat ve ticaret hacmi miktarları, ihracatın ithalatı karşılama oranı, nüfus artış oranı, sanayi üretiminin payı, enflasyon oranı, işsizlik oranı ile birlikte büyüme göstergesi olarak da

reel GSYİH’nin değişim oranı çalışmada kullanılan değişkenleri temsil etmektedir. Bu kapsamda hedef nitelik olarak reel gayri safi yurt içi hasılanın değişim oranı ele alınarak değişimin pozitif yönde olduğu yıllarda büyüme kapsamında büyüme değişkenine 1 sınıf değeri atanırken negatif olduğu yıllarda ise büyüme değişkenine 0 sınıf değeri atanmıştır. Belirlenen sınıflar çerçevesinde yıllara göre tüm değişkenlerin çapraz olarak diğer değişkenlerle ve sınıfların genel dağılımları belirlenen sınıflar neticesinde Şekil 1’de özetlenmektedir.

Uygulama ve Bulgular

Çalışmada 2002 ve 2020 yılları arasında Tablo 2’de de detaylı bir şekilde verilmiş olan 12 farklı değişkenin büyüme üzerine etkisini keşifsel olarak araştırmak için makine öğrenmesi yaklaşımlarından olan karar ağacı yöntemi uygulanmıştır. Uygulama için Scikit-Learn kütüphanesi ve Python programlama dili kullanılmıştır. Özellikle karar ağaçlarının beyaz kutu yapısı başka bir ifade ile sonuçları meydana getiren yapının rahatlıkla anlaşılabilmesi ve basit ifadeler ile kurallar haline dönüştürülebilmeleri bu çalışmada karar ağaçlarının kullanılmasının en temel motivasyonu olmuştur. Bu amaçla karar ağacı yaklaşımlarından olan ve sıklıkla birçok uygulamada kullanılan CART algoritmasından yararlanılmıştır. Özellikle değişkenlerin büyümedeki belirleyicilerini ortaya koymak amacı ile karar ağaçları vasıtasıyla oluşturulan karar kurallarının keşfedilmesi temel amaç olarak ele alınmış olup bu amaç doğrultusunda da Tablo 2’te gösterildiği üzere veri seti değişkenlerin olası tüm kombinasyonları ile ayrı ayrı oluşturularak tek tek değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Ayrıca daha önce de bahsedildiği üzere karar ağaçlarının performansını etkilen bir faktör olarak bölünme kriterlerinden Gini ve Entropi yaklaşımları da her bir farklı veri seti için ayrı ayrı uygulanarak her bir bölünme kriterinde meydana gelen olası farklı karar kuralları da ayrıca raporlanmıştır.

Sınıflandırma görevlerinde sıklıkla kullanılan temel bir makine öğrenmesi yaklaşımı olan karar ağacı yaklaşımının uygulanmasında diğer makine öğrenmesi algoritmalarında olduğu gibi veri setinin eğitim ve test amacı ile ikiye bölünmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda çalışmanın veri setinin çok yüksek bir kayıt sayısından oluşmaması nedeniyle tek bir eğitim ve test veri seti kullanılmamış olup K-fold çapraz değerlendirme tercih edilmiştir. Eğitim veri setinin oluşturulmasında, veri seti 10 farklı yapıda ele alınarak hem doğruluğun artırılması amaçlanmış hem de olası farklı eğitim setlerinin meydana getirebileceği karar kurallarının ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Bu kapsamda 441 farklı veri seti için 10 farklı eğitim seti ile her bir bölünme kriteri için toplamda 4410 adet farklı model ele alınarak 8820 farklı karar ağacı yapısı oluşturularak değerlendirmeye alınmıştır. Toplamda 8820 karar ağacından, doğruluk değeri %80 ve üzeri olan karar ağaçlarından elde edilen tüm farklı olası karar kuralları ise Tablo 2’te detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Bulguların raporlanmasında %80 doğruluk oranının seçilmesindeki temel neden bu oran üzerindeki başarı oranlarında oluşan karar kurallarının sayısının bilhassa daha az sayıdaki değişken sayısına sahip veri seti üzerinde oldukça azalması ve bu nedenle oluşan durum neticesinde çalışma kapsamında araştırılmak isten kuralların vurgusunun kaanatimizce azalması olmuştur. Tablo 2’te de belirtildiği üzere farklı veri setleri veya bölünme kriterleri için oluşan karar ağaç yapılarından sadece farklı olanlar sunulmuştur. Bazı durumlarda iki farklı bölünme kriterinde de aynı değişkenler ile aynı ağaç yapısının oluşmasına rağmen bölünmeyi sağlayan değişken değerinin farklılık göstermesi nedeni ile bu kurallara da ayrı olarak tabloda yer verilmiştir.

Ayrıca Tablo 2’te karar kuralları neticesinde sınıflandırma sonucunu yansıtan sınıf değişkeni ise büyüme hedef değişkenini nitelemekte olup “Sınıf=1” büyümeyi temsil ederken “Sınıf=0” küçülmeyi temsil etmektedir.

Tablo 2. Karar Ağacı Uygulaması Sonucunda Elde Edilen Kurallar

Değişkenler	B. Kriteri ve Başarı oran (%)	Kurallar
Tasarruf, Sermaye Birikimi	Entropi 0.80	Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 167476211712):Sınıf =1 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Sermaye Birikimi $>$ 167476211712): Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $>$ 96,86): Sınıf = 0
		Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $\leq$ 55,29): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $>$ 55,29): Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $>$ 96,86): Sınıf = 0
		Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $\leq$ 55,29):Sınıf=1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $>$ 55,29):Sınıf=0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $>$ 567670554624): Sınıf = 0
		Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 241758511104 ve Tasarruf $\leq$ 62,62): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 241758511104 ve Tasarruf $>$ 62,62): Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve Sermaye Birikimi $>$ 241758511104): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $>$ 97,15): Sınıf = 0
	Gini 0.80	Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Tasarruf $\leq$ 78,26): Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Tasarruf $>$ 78,26 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 258899869696): Sınıf =0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Tasarruf $>$ 78,26 ve Sermaye Birikimi $>$ 258899869696): Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $>$ 567670554624): Sınıf = 0
	Entropi 0.96	Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $\leq$ 23140393): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $>$ 23140393): Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $>$ 96,86): Sınıf = 0
		Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $\leq$ 23140393): Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $>$ 23140393): Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Emek $>$ 28264435): Sınıf = 0
		Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $\leq$ 55,29): Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $>$ 55,29): Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Emek $>$ 28264435): Sınıf = 0
		Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek $\leq$ 23785706): Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek $>$ 23785706 ve Tasarruf $\leq$ 83,88): Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek $>$ 23785706 ve Tasarruf $>$ 83,88): Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $>$ 567670554624): Sınıf = 0
Tasarruf, Sermaye Birikimi, Emek	Gini 0.8	Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve Emek $\leq$ 23785706): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve Emek $\leq$ 23785706 ve Tasarruf $\leq$ 83,88): Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve Emek $\leq$ 23785706 ve Tasarruf $>$ 83,88): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $>$ 97,15): Sınıf = 0
		Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Emek $\leq$ 23785706): Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Emek $>$ 23785706 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 270998503424): Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Emek $>$ 23785706 ve Sermaye Birikimi $>$ 270998503424): Sınıf = 1 Eğer (Emek $>$ 28264435): Sınıf = 0
	Entropi 1.0	Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $\leq$ 23140393): Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $>$ 23140393): Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge $>$ 16202719744): Sınıf = 0
		Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $\leq$ 55,29): Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Tasarruf $>$ 55,29): Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge $>$ 16202719744): Sınıf = 0
		Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Ar-Ge $\leq$ 5142271360): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Ar-Ge $>$ 5142271360): Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve Sermaye Birikimi $>$ 231580868608): Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf $>$ 96,86): Sınıf = 0
	Entropi 0.8	

Türkiye’de İktisadi Büyümenin Kaynakları: Makine Öğrenmesi İle Karar Ağacı Bulguları

Tasarruf, Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat	Gini	0.866	Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve Emek <= 23785706 ve Ar-Ge <= 8677520896) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve Emek <= 23785706 ve Ar-Ge > 8677520896) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
			Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Ar-Ge <= 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Ar-Ge <= 7490250496 ve Tasarruf <= 83,88) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Ar-Ge <= 7490250496 ve Tasarruf > 83,88) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
	Entropi	0.8	Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat <= 74697726) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat > 74697726) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 96,86) : Sınıf = 0
			Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat <= 74697726) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat > 74697726) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini	0.94	Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Emek > 23785706 ve İhracat <= 108012916) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Emek > 23785706 ve İhracat > 108012916) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
			Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve Emek > 23785706 ve İhracat <= 108012916) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve Emek > 23785706 ve İhracat > 108012916) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
	Entropi	0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İthalat <= 105134056) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İthalat > 105134056) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
			Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek <= 23785706 ve İthalat <= 163236376) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek <= 23785706 ve İthalat > 163236376) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini	1.0	Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve Ticaret Hacmi <= 179831784) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve Ticaret Hacmi > 179831784) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Ticaret Hacmi <= 271249296) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Ticaret Hacmi > 271249296) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
Tasarruf, Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi	Ent-ropi	0.96	Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve X/M <= 71,21) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve X/M > 71,21) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
			Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve X/M <= 71,21) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve X/M > 71,21) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf > 96,86) : Sınıf = 0
	Gini	0.866	Eğer (Emek <= 282644354 ve X/M <= 70,31) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 282644354 ve X/M > 70,31) : Sınıf = 0 Eğer (Emek > 282644354) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve X/M <= 70,31) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve X/M > 70,31) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Gini	0.82	Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve X/M <= 70,31) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve X/M > 70,31) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
			Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve X/M <= 70,31) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf <= 97,15 ve X/M > 70,31) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
	Ent-ropi	0.94	Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 96,86) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Ent-ropi	1.0	Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 96,86) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Ent-ropi	1.0	Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf <= 96,86 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 96,86) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0

Her iki bölünme kriteri ile oluşturulan kurallarda Nüfus Artış Oranın dâhil olduğu bir karar kural üretilmemiş olup, ortaya çıkan tüm ağaç yapılarında yukarıda da verilen kurallar meydana gelmiştir. (Tablonun geri kalanında benzer durumdaki değişken setleri atlanmıştır.)

Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, Sanayi Payı (SP)	Gini	0,90	Eğer (Emek $\leq$ 282644354 ve SP $\leq$ 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 282644354 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 282644354) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve SP $\leq$ 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Gini	0,92	Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve SP $\leq$ 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
	Gini	1,0	Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve SP $\leq$ 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
Tasarruf, Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, Sanayi Payı, Enflasyon Oranı (EO)	Ent- ropi	0,98	Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve EO $\leq$ 6,92) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve EO > 6,92) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
			Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve EO $\leq$ 6,92) : Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve EO > 6,92) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Ent- ropi	0,98	Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve EO $\leq$ 6,92) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 96,86 ve EO > 6,92) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 96,86) : Sınıf = 0
	Gini	1,0	Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve EO $\leq$ 6,92) : Sınıf = 0 Eğer (Tasarruf $\leq$ 97,15 ve EO > 6,92) : Sınıf = 1 Eğer (Tasarruf > 97,15) : Sınıf = 0
	Gini	0,98	Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve EO $\leq$ 6,92) : Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve EO > 6,92) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Ent- ropi	1,0	Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve IO $\leq$ 12,09) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve IO > 12,09) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
			Eğer (Emek $\leq$ 282644354 ve IO $\leq$ 12,09) : Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 282644354 ve IO > 12,09) : Sınıf = 0 Eğer (Emek > 282644354) : Sınıf = 0
	Ent- ropi	0,98	
Tasarruf, Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, Sanayi Payı, Enflasyon Oranı, İşsizlik Oranı (IO)	Gini	0,96	Eğer (Emek $\leq$ 282644354 ve IO $\leq$ 12,09) : Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 282644354 ve IO > 12,09) : Sınıf = 0 Eğer (Emek > 282644354) : Sınıf = 0
	Entropi	0,8	Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek $\leq$ 23140393) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Emek > 23140393) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
			Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 167476211712) : Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Sermaye Birikimi > 167476211712) : Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini	0,92	Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek $\leq$ 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek > 23785706 ve Emek $\leq$ 24713747) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek > 23785706 ve Emek > 24713747) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
Sermaye Birikimi, Emek	Entropi	0,8	Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Ar-Ge $\leq$ 5142271360) : Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Ar-Ge > 5142271360) : Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
			Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Ar-Ge $\leq$ 5142271360) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 231580868608 ve Ar-Ge > 5142271360) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge $\leq$ 16202719744 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi	0,8	Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Ar-Ge $\leq$ 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve Emek $\leq$ 24713747) : Sınıf = 0 Eğer (Emek $\leq$ 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve Emek > 24713747) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
			Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Ar-Ge $\leq$ 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Ar-Ge > 7490250496 ve Sermaye Birikimi $\leq$ 270998503424) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Ar-Ge $\leq$ 7490250496 ve Sermaye Birikimi > 270998503424) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
	Gini	0,96	Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek $\leq$ 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek > 23785706 ve Ar-Ge $\leq$ 8677520896) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek > 23785706 ve Ar-Ge > 8677520896) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
	Gini	1,0	Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek $\leq$ 23785706 ve Ar-Ge $\leq$ 8677520896) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi $\leq$ 567670554624 ve Emek > 23785706 ve Ar-Ge > 8677520896) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
	Gini	0,92	
	Gini	0,96	
	Gini	1,0	

Türkiye’de İktisadi Büyümenin Kaynakları: Makine Öğrenmesi İle Karar Ağacı Bulguları

Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat	Entropi 0.98	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat <= 74697726) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat >74697726) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat <= 74697726) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve İhracat >74697726) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini 0.98	Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge <= 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve İhracat <= 108012916) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve İhracat > 108012916) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini 1.0	Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge <= 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve İthalat <= 163236376) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve İthalat > 163236376) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi,	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve Ticaret Hacmi <= 179831784) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve Ticaret Hacmi > 179831784) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve Ticaret Hacmi <= 179831784) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi <= 231580868608 ve Ticaret Hacmi > 179831784) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Sermaye Birikimi > 231580868608) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini .86	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Ticaret Hacmi <= 271249296) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Ticaret Hacmi > 271249296) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Gini 0.9	Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge <= 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve Ticaret Hacmi <= 271249296) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7490250496 ve Ticaret Hacmi > 271249296) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M	Entropi 0.866	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve X/M <= 71,21) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve X/M > 71,21) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Gini 0.88	Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve X/M <= 70,31) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve X/M > 70,31) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0
Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, Sanayi Payı	Entropi 1.0	Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve SP <= 18,43) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve SP > 18,43) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624) : Sınıf = 0
Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, Sanayi Payı, Enflasyon Oranı		Her iki bölünme kriteri ile elde edilen karar kuralları yukarıda elde edilen kurallardan farklı değildir veya karar kuralının sınıflandırma başarısı düşüktür. (Tablonun geri kalanında benzer durumdaki değişken setleri atlanmıştır.)
Sermaye Birikimi, Emek, AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, Sanayi Payı, Enflasyon Oranı, İşsizlik Oranı	Entropi 1.0	Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve IO <= 12,09) : Sınıf = 1 Eğer (Sermaye Birikimi <= 567670554624 ve IO > 12,09) : Sınıf = 0 Eğer (Sermaye Birikimi > 567670554624) : Sınıf = 0

Emek, AR-GE	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Ar-Ge <= 8677520896) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Ar-Ge > 8677520896) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Gini 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Emek <= 24713747) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve Emek > 24713747) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
Emek, AR-GE, İhracat	Entropi 0.94	Eğer (Emek <= 28264435 ve İhracat <= 104707184 ve İhracat <= 93838644) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve İhracat <= 104707184 ve İhracat > 93838644) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Entropi 0.88	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve Ar-Ge <= 6243666688) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve Ar-Ge > 6243666688) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.86	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve Emek <= 23224884) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve Emek > 23224884) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Gini 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ar-Ge <= 7490250496) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ar-Ge > 7490250496 ve İhracat <= 108012916) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ar-Ge > 7490250496 ve İhracat > 108012916) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Emek <= 28264435 ve İthalat <= 155495568 ve İhracat <= 93838644) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve İthalat <= 155495568 ve İhracat > 93838644) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve İthalat > 155495568) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat <= 155495568 ve İthalat <= 140252296) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat <= 155495568 ve İthalat > 140252296) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat > 155495568) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
Emek, AR-GE, İhracat, İthalat	Entropi 0.82	Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek <= 23417392) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek > 23417392 ve İthalat <= 163236376) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek > 23417392 ve İthalat > 163236376) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Entropi 0.84	Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge <= 7089315584) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7089315584 ve İthalat <= 163236376) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Ar-Ge > 7089315584 ve İthalat > 163236376) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Gini 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek <= 23785706) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve İthalat <= 163236376) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Emek > 23785706 ve İthalat > 163236376) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi <= 260202752 ve Emek <= 23224884) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi <= 260202752 ve Emek > 23224884) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi > 260202752) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.96	Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek <= 23417392) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek > 23417392 ve Ticaret Hacmi <= 271249296) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve Emek > 23417392 ve Ticaret Hacmi > 271249296) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Entropi 0.82	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve Ticaret Hacmi <= 23409094) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve Ticaret Hacmi > 23409094) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
AR-GE, İhracat	Entropi 0.8	Eğer (Emek <= 28264435 ve İthalat <= 155495568 ve Ticaret Hacmi <= 23409094) : Sınıf = 1 Eğer (Emek <= 28264435 ve İthalat <= 155495568 ve Ticaret Hacmi > 23409094) : Sınıf = 0 Eğer (Emek <= 28264435 ve İthalat > 155495568) : Sınıf = 1 Eğer (Emek > 28264435) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve İhracat <= 93838644) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve İhracat > 93838644) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
AR-GE, İhracat, İthalat	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat <= 155495568 ve İhracat <= 93838644) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat <= 155495568 ve İhracat > 93838644) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat > 155495568) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve İthalat <= 140252296) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat <= 104707184 ve İthalat > 140252296) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0

Türkiye’de İktisadi Büyümenin Kaynakları: Makine Öğrenmesi İle Karar Ağacı Bulguları

AR-GE, İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi	Entropi 1.0	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat <= 155495568 ve Ticaret Hacmi <= 23409094) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat <= 155495568 ve Ticaret Hacmi > 23409094) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve İthalat > 155495568) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.96	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi <= 260202752 ve Ticaret Hacmi <= 23409094) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi <= 260202752 ve Ticaret Hacmi > 23409094) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi > 260202752) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
	Entropi 0.8	Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi <= 260202752 ve İhracat <= 93838644) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi <= 260202752 ve İhracat > 93838644) : Sınıf = 0 Eğer (Ar-Ge <= 16202719744 ve Ticaret Hacmi > 260202752) : Sınıf = 1 Eğer (Ar-Ge > 16202719744) : Sınıf = 0
İhracat, İthalat	Entropi 0.8	Eğer (İhracat <= 138718224 ve İthalat <= 140252296) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 138718224 ve İthalat > 140252296 ve İhracat <= 104707184) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 138718224 ve İthalat > 140252296 ve İhracat > 104707184) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat > 138718224 ve İthalat <= 246919184) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat > 138718224 ve İthalat > 246919184) : Sınıf = 1
	Gini 0.8	Eğer (İhracat <= 154397792 ve İthalat <= 128851284) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 154397792 ve İthalat > 128851284 ve İthalat <= 155495568) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 154397792 ve İthalat > 128851284 ve İthalat > 155495568 ve İhracat <= 137933032) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 154397792 ve İthalat > 128851284 ve İthalat > 155495568 ve İhracat > 137933032 ve İthalat <= 229447800) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 154397792 ve İthalat > 128851284 ve İthalat > 155495568 ve İhracat > 137933032 ve İthalat > 229447800) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat > 154397792) : Sınıf = 0
İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi	Entropi 0.8	Eğer (İhracat <= 138718224 ve İthalat <= 138718224) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 138718224 ve İthalat > 138718224 ve İthalat <= 155495568) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 138718224 ve İthalat > 138718224 ve İthalat > 155495568) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat > 138718224 ve Ticaret Hacmi <= 401625568) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat > 138718224 ve Ticaret Hacmi > 401625568) : Sınıf = 1
	Entropi 0.94	Eğer (İhracat <= 138718224 ve İhracat <= 93838644.00) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 138718224 ve İhracat <= 93838644.00 ve Ticaret Hacmi <= 260202752) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 138718224 ve İhracat <= 93838644.00 ve Ticaret Hacmi > 260202752) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat > 138718224 ve Ticaret Hacmi <= 401625568) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat > 138718224 ve Ticaret Hacmi > 401625568) : Sınıf = 1
	Gini 1.0	Eğer (İhracat <= 154397792 ve Ticaret Hacmi <= 216660800) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 154397792 ve Ticaret Hacmi > 216660800 ve Ticaret Hacmi <= 260202752) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 154397792 ve Ticaret Hacmi > 216660800 ve Ticaret Hacmi > 260202752 ve İhracat <= 137933032) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 154397792 ve Ticaret Hacmi > 216660800 ve Ticaret Hacmi > 260202752 ve İhracat > 137933032 ve Ticaret Hacmi <= 377268544) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat <= 154397792 ve Ticaret Hacmi > 216660800 ve Ticaret Hacmi > 260202752 ve İhracat > 137933032 ve Ticaret Hacmi > 377268544) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat > 154397792) : Sınıf = 0
	Gini 0.8	Eğer (İhracat <= 154397792 ve X/M <= 68,78) : Sınıf = 1 Eğer (İhracat <= 154397792 ve X/M > 68,78) : Sınıf = 0 Eğer (İhracat > 154397792) : Sınıf = 0
İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M	Gini 0.98	Eğer (X/M <= 64,92) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Ticaret Hacmi <= 342532000 ve X/M <= 70,31) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Ticaret Hacmi <= 342532000 ve X/M > 70,31) : Sınıf = 0 Eğer (X/M > 64,92 ve Ticaret Hacmi > 342532000) : Sınıf = 0
İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı	Gini 0.94	Eğer (X/M <= 64,92) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Nartıs <= 12.68 ve X/M <= 72,72) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Nartıs <= 12.68 ve X/M > 72,72) : Sınıf = 0 Eğer (X/M > 64,92 ve Nartıs > 12,68) : Sınıf = 0
İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, SP	Gini 0.94	Eğer (X/M <= 64,92) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve İthalat <= 202333944 ve SP <= 18,90) : Sınıf = 0 Eğer (X/M > 64,92 ve İthalat <= 202333944 ve SP > 18,90) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve İthalat > 202333944) : Sınıf = 0
İhracat, İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış Oranı, SP, EO	Gini 0.8	Eğer (X/M <= 64,92) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Nartıs <= 12.68 ve EO <= 8,78) : Sınıf = 0 Eğer (X/M > 64,92 ve Nartıs <= 12.68 ve EO > 8,78) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Nartıs > 12.68) : Sınıf = 0
İthalat, Ticaret Hacmi, X/M, Nüfus Artış	Gini 0.8	Eğer (X/M <= 64,92) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 6492 ve Ticaret Hacmi <= 342532000 ve Nartıs <= 13,23) : Sınıf = 1 Eğer (X/M > 64,92 ve Ticaret Hacmi <= 342532000 ve Nartıs > 13,23) : Sınıf = 0 Eğer (X/M > 64,92 ve Ticaret Hacmi > 342532000) : Sınıf = 0

Nüfus Artış Oranı, SP, EO, IO	Entropi 0,98	Eğer (IO ≤ 9,54) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 9,54 ve Nartis ≤ 12,12) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 9,54 ve Nartis > 12,12 ve Nartis ≤ 14,49 ve EO ≤ 20,40) : Sınıf = 0 Eğer (IO > 9,54 ve Nartis > 12,12 ve Nartis ≤ 14,49 ve EO > 20,40) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 9,54 ve Nartis > 12,12 ve Nartis > 14,49) : Sınıf = 1
SP, EO	Gini 0,98	Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve SP ≤ 19,72 ve EO ≤ 6,92) : Sınıf = 0 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve SP ≤ 19,72 ve EO > 6,92) : Sınıf = 1 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve SP > 19,72) : Sınıf = 0 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO > 8,54) : Sınıf = 1 Eğer (SP > 20,42) : Sınıf = 0
SP, EO, IO	Gini 0,8	Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve IO ≤ 9,69) : Sınıf = 1 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve IO > 9,69 ve SP ≤ 19,08 ve IO ≤ 12,09) : Sınıf = 1 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve SP > 19,72 ve SP ≤ 19,08 ve IO > 12,09) : Sınıf = 0 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO ≤ 8,54 ve SP > 19,72 ve SP > 19,08) : Sınıf = 0 Eğer (SP ≤ 20,42 ve EO > 8,54) : Sınıf = 1 Eğer (SP > 20,42) : Sınıf = 0
EO, IO	Gini 0,92	Eğer (IO ≤ 10,88 ve EO ≤ 8,54 ve IO ≤ 9,69) : Sınıf = 1 Eğer (IO ≤ 10,88 ve EO ≤ 8,54 ve IO > 9,69) : Sınıf = 0 Eğer (IO ≤ 10,88 ve EO > 8,54) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 10,88 ve IO ≤ 12,01 ve IO ≤ 11,05) : Sınıf = 0 Eğer (IO > 10,88 ve IO ≤ 12,01 ve IO > 11,05) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 10,88 ve IO > 12,01) : Sınıf = 0
	Gini 0,9	Eğer (IO ≤ 10,88 ve EO ≤ 8,54 ve IO ≤ 9,69) : Sınıf = 1 Eğer (IO ≤ 10,88 ve EO ≤ 8,54 ve IO > 9,69) : Sınıf = 0 Eğer (IO ≤ 10,88 ve EO > 8,54) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 10,88 ve EO ≤ 9,50 ve IO ≤ 12,01) : Sınıf = 1 Eğer (IO > 10,88 ve EO ≤ 9,50 ve IO > 12,01) : Sınıf = 0 Eğer (IO > 10,88 ve EO > 9,50) : Sınıf = 0

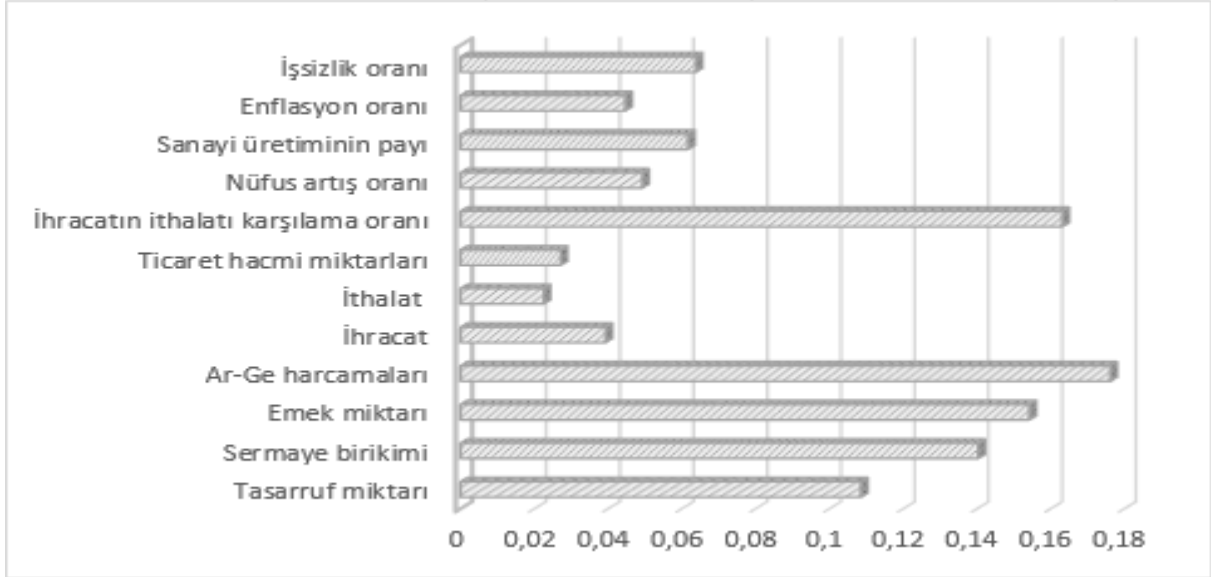
Çalışmanın bulguları değerlendirilirken, burada yararlanılan veri setinden bilgi keşfedildiği; bir başka deyişle bunun bir sınıflandırma sonucu olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Tablo 2’de ilk sütun kuralın türetilmesinde kullanılan değişkenleri, ikinci sütun bölünme kriterlerini ve üçüncü sütun ise kuralları göstermektedir. İlk olarak bu kuralların nasıl değerlendirileceğine örnek teşkil etmesi bakımından ilk satır grubu değerlendirilecektir. Buna göre, eğer tasarruflar 96,86 milyon ABD Doları’ndan ve sermaye birikimi 231 milyar Türk Lirası (TL)’nden küçük eşit ise sermaye birikimi 167 milyar TL’den küçük eşit olursa ekonomi büyür; tasarruflar 96,86 milyon ABD Doları’ndan küçük eşit iken sermaye birikimi 167 milyar TL’den büyük ise ekonomi küçülür; tasarruflar 96,86 milyon ABD Doları’ndan küçük eşit iken sermaye birikimi 231 milyar TL’den büyükse ekonomi büyür; tasarruflar 96.86 milyon ABD Doları’ndan büyük ise ekonomi küçülür.

Sermaye birikimi, emek, Ar-Ge ve ihracatın yer aldığı modele göre, emek (işgücü) 28 milyondan küçük eşit iken Ar-Ge harcamaları 7, milyar TL’den büyük ve ihracat 108 milyar ABD dolarından fazla olduğunda ekonomi büyümektedir.

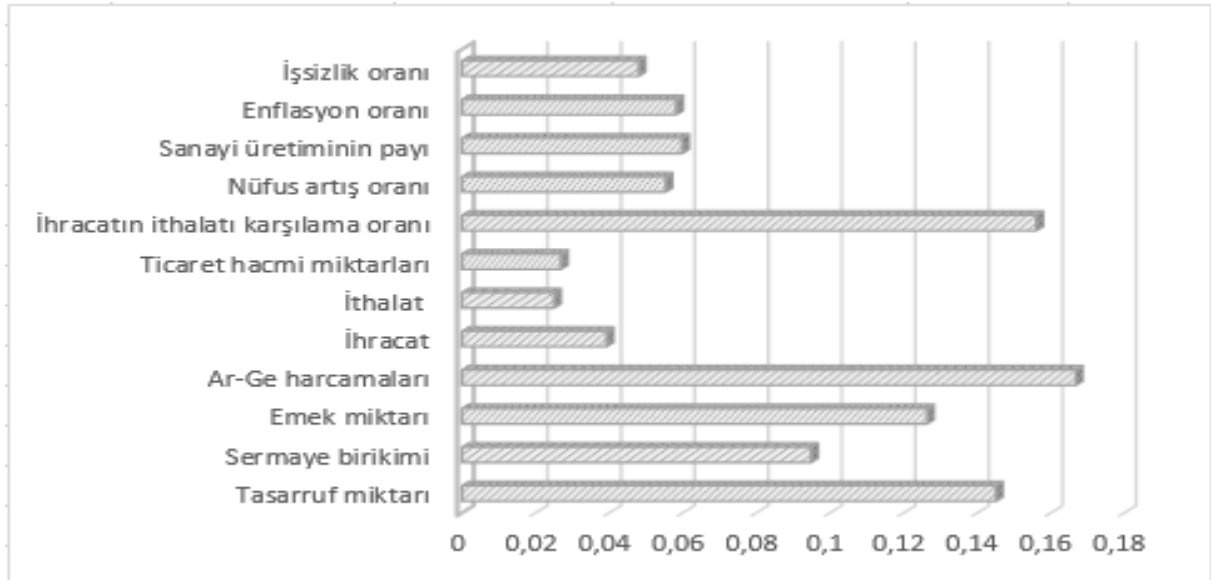
İlgi çekici bir diğer bulgu da tasarruf, sermaye birikimi, emek, Ar-Ge, ihracat, ithalat, ticaret hacmi, ihracatın ithalatı karşılama oranı, nüfus artış oranı, sanayi payı ve enflasyon oranı değişkenlerinin dikkate alındığı modelden elde edilmiştir. Buna göre emek 28 milyondan küçük eşit iken enflasyon oranı 6,92’den küçük eşit ise ekonomi küçülmekte; enflasyon oranı 6,92’den büyük ise ekonomi büyümektedir. Bu bulgu, ekonomik büyüme için (makul bir) enflasyona razı olmak gerekir savını destekler niteliktedir.

İhracat, ithalat, ticaret hacmi, ihracatın ithalatı karşılama oranı, nüfus artış oranı, sanayi payı değişkenlerinin dikkate alındığı modele göre ise ihracatın ithalatı karşılama oranı %64,92’yi geçerse 202 milyar ABD Doları’ndan düşük ve sanayinin payı % 18,90’dan büyük ise ekonomi büyümektedir. Bu bulgu, ihracatın ithalatı karşılama oranı artarken, ithalatın uygun bir seviyede tutulması ve sanayileşme sayesinde ekonominin büyüyeceğini göstermekte olup literatür ile tutarlıdır.

Elde edilen bu kurallar, Türkiye’nin ele alınan dönemde büyümesinin hangi kaynaklardan ne ölçüde ve ne yönde etkilendiğine dair bilgi vermekte; değişkenlerin büyümeye etkisi bakımından eşik değerler sunmaktadır. Bu kurallar, büyüme modelleri üzerinde çalışan araştırmacılara değişken seçimlerinde, politika yürütücülerine ise büyüme politikalarını oluşturmada yardımcı olabilir.



Şekil 2. Gini bölünme kriterine göre özelliklerin önem dereceleri



Şekil 3. Entropy bölünme kriterine göre özelliklerin önem dereceleri

Daha önce bahsedildiği üzere sonuçlarının oldukça rahat anlaşılabilir olması ile birlikte karar ağaçlarının bir diğer önemli özelliği de karar kurallarının oluşumunda kullanılan özelliklerin önem (Feature Importance) puanlarının elde edilebilmesidir. Özellik önem puanları karar ağaçlarının oluşturulması aşamasında dallanmada kullanılan özellikler ve her bir dalın altında yer alan gözlem sayısına göre hesaplanmaktadır. Bu çalışmada iki farklı bölünme kriteri

dikkate alındığı için Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü üzere hem Gini hem de Entropy bölünme kriterine göre özellik önem puanı hesaplaması yapılmıştır. Ayrıca belirtilmelidir ki çalışma kapsamında kuralların üretilmesi noktasında 8000'den fazla karar ağacı oluşturulmuştur. Fakat her bir karar ağacı için tek tek özellik önem dereceleri raporlanamayacağı için Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulan önem dereceleri, %80 başarı oranının üzerinde sonuç veren karar ağaçlarından elde edilen özellik önem puanlarının ortalamasını ifade etmektedir. Hem Şekil 2'de hem de Şekil 3'te görülebileceği gibi karar ağaçlarının oluşturulmasında en büyük etkiye sahip değişken Ar-Ge harcamaları iken onu ihracatın ithalatı karşılama oranı takip etmektedir. Şekillerden anlaşılabileceği üzere iki bölünme kriteri açısından da oldukça yakın sonuçlar raporlanmakla birlikte gini bölünme kriterine göre emek miktarı üçüncü sırada bir öneme sahipken entropy bölünme kriterinde dördüncü sırada bir öneme sahip olmuştur. Benzer bir durum tasarruf miktarı için de geçerlidir. Entropy bölünme kriterine göre üçüncü sırada olan tasarruf miktarı değişkeni, gini bölünme kriterine göre karar kurallarının oluşturulmasında beşinci sırada bir öneme sahiptir.

Bu bulgular, yenilik üretme kapasitesi, ihracat, emek gücü ve yatırımların da kaynağı olan tasarrufların Türkiye Ekonomisi'nin büyümesi açısından önemini ortaya koymaktadır.

Tartışma ve Sonuç

Ekonomik büyüme, makro ekonomi politikasının temel amaçlarından biridir. Genel olarak reel GSYİH'nin artışı olarak ele alınır. Bu yönüyle uluslararası refah karşılaştırmalarında da sıklıkla başvurulmuş bir göstergedir. Her ne kadar dünya kaynaklarının tükenmesi ve kirlenmesi gerçeği ile literatürde büyümeme olgusu yer bulmaya başlamış olsa da özellikle koronavirüs pandemisi döneminde yaşanan büyüme hızlarının düşmesi, borçlanmanın artması, üretimin ve istihdamın azalması büyüme kaygılarını yeniden gündeme taşımıştır.

Büyümenin temel bir makro hedef ve önemli bir ekonomik performans göstergesi olması nedeniyle büyümenin kaynakları da gerek kuramsal düzeyde gerekse ampirik çalışmalarda her dönem popülerliğini korumuştur. Farklı teorisyenler ve iktisat okulları farklı büyüklükleri öne çıkaran çalışmalar ortaya koymuşlardır. Tüm bu teorik ve ampirik çalışmalar değerlendirildiğinde, tasarruf, sermaye birikimi, işgücü, beşeri sermaye, dış ticaret, makro ekonomik istikrar ve sanayileşme gibi değişkenler ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada da kuramsal ve uygulamalı çalışmalar takip edilerek bu değişkenlerin ekonomik büyümeyi belirlemedeki rolü makine öğrenmesi ile karar ağacı analizlerinden yararlanılarak araştırılmıştır. Ampirik çalışmalarda konunun incelenmesinde daha çok zaman serisi, panel veri analizi ve verimlilik analizlerinden yararlanıldığı; ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda makine öğrenmesi temelli yaklaşımların daha etkin tahmine olanak sağladığı yönünde kanıtlar sunan çalışmaların arttığı görülmektedir. Türkiye ekonomisine ilişkin ampirik kanıtlar sunan bu çalışmanın da literatüre bu yönüyle katkı sağlaması düşünülmektedir.

Karar ağacı, bu çalışmada sınıflandırma amacıyla kullanılmış ve Türkiye ekonomisi için 2002-2020 döneminde ekonomik büyümenin belirleyenlerine göre büyüme için karar kuralları elde edilmiştir. Pek çok karar ağacı algoritması bulunmaktadır. Bu çalışmada tahmin değişkenlerinin değerlerine dayalı olarak bir sonuç değişkeni için tahmin kuralları oluşturmak amacıyla kullanılan istatistiksel bir teknik olması nedeniyle CART algoritması tercih edilmiştir. Bu çerçevede Gini ve Entropi bölünme kriterleri kullanılmış ve sonuçların güvenilirliği açısından doğruluk değeri hesaplanmıştır.

Çalışmanın bulguları arasındaki en çarpıcı sonuç, ekonomik büyüme açısından sermaye birikiminin belirleyici gücüdür. Dikkate alınan modellerin pek çoğunda sermaye birikimi ön plana çıkmıştır. Bu bulgu ampirik literatürde geniş yer bulan Neoklasik modelleri desteklemektedir. Yine çalışmanın bulguları ışığında düşük işsizlik oranları, düşük nüfus artışları, tek haneli enflasyon oranları ve ihracat artışlarının ekonomik büyümeyi teşvik ettiği söylenebilir. Ayrıca tasarrufların çok yüksek olması ekonomik büyümeyi sınırlandırabilmektedir. Yatırımlara dönüşmediği takdirde tasarrufların makro ekonomik bir sızıntı olduğu düşünüldüğünde bu bulgu da teorik beklentilerle uyumludur. Kimi modellerde aksi yönde bulgular olsa da işgücünün az, ihracatın yüksek olduğu durumda Ar-Ge harcamalarının da yüksekliği büyümeyi olumlu yönde etkilemektedir. Bölünme kriterlerine göre önem dereceleri dikkate alındığında Türkiye Ekonomisi’nin büyümesi açısından yenilik üretme kapasitesi, ihracat, emek gücü ve yatırımların da kaynağı olan tasarrufların öne çıktığı görülmektedir.

Gelecek çalışmalarda daha geniş bir veri seti ile çalışılması ve çok ülkeli analizler yapılması, sonuçların daha da güvenilir olmasına ve ülkeler arasındaki farklılıkların ortaya konmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca böyle geniş bir veri setinde farklı dönemler ve/veya ülke grupları için analizlerin yapılması, farklı dönemler itibarıyla ve (örneğin) farklı gelir seviyesindeki ülkelerde büyümenin kaynaklarının belirlenmesine hizmet edecektir.

Kaynakça

- Acemoğlu, D., & J. A. Robinson. (2012). *Ulusların Düşüşü*, İstanbul: Doğan Kitap.
- Aggarwal, C. C. (2015). *Data Mining: The Textbook*. Springer.
- Aghion, P., ve Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Ali, H., & Sardar, K. (2020). Macroeconomic and Socioeconomic Determinants of Economic Growth: An Empirical Examination of South Asian Economies. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 8(2), 47-56.
- Alper, F. Ö. (2019). Ekonomik Büyümenin Belirleyicileri: Yapısal Kırılmalar Altında Türkiye Örneği. *Fiscaeconomia*, 3(1), 202-227.
- Artan, S., & Hayaloğlu, P. (2014). Kurumsal Yapı ve İktisadi Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği. *Sosyoekonomi*, 2014-2, 347-366.
- Astuti, R. D., & Udjanto, D. W. (2020). Determinants of Economic Growth in ASEAN-4 Countries (Indonesia, Malaysia, Philippines, and Thailand). *Proceeding on Economic and Business Series (EBS)*, 1(1), 152-158.
- Barro, R. J. (1990). Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth. *Journal of Political Economy*, 98(5), 103-125.
- Basuchoudhary, A., Bang J. T., & Sen, T. (2017), *Machine-learning Techniques in Economics New Tools for Predicting Economic Growth*, ABD: Springer Briefs in Economics.
- Breiman, L., J. Friedman, Olshen, R.A., & Stone, C.J. (1984) Classification and Regression Trees. *Wadsworth*, ISBN: 0534980546, pp: 358.

- Bulut, H., & Doğan, A. R. (2020). Rekabet Gücü ve Büyüme İlişkisi: BRICS-T Ülkeleri Üzerine Ekonometrik Bir Analiz. *International Journal Entrepreneurship and Management Inquiries*, 4(1), 126-144.
- Cinel, E. A. (2014). Türkiye’de Ekonomik Büyümenin Belirleyicileri. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 4(8), 15-26.
- Doğanay, M. A., & Değer, M. K. (2020). Kurumlar ve Ekonomik Büyüme: Panel Veri Analizi (2002-2018). *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(19), 75-99.
- Domar, E. D. (1947). Expansion and Employment. *American Economic Review*, 37(1), 34-55.
- Elverdi, S., & Atik, H. (2021). İnovasyon ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Analizi: Bir Yapısal Eşitlik Modellemesi, *Pearson Journal of Social Sciences & Humanities*, 6(10), 183-205.
- Göçer, İ. (2013). Ekonomik Büyümenin Belirleyicileri: Sınır Testi Yaklaşımı. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 75-91.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data Mining Concepts and Techniques Third Edition*. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, 5(4), 83-124.
- Harrod, R. F. (1948). *Towards a Dynamic Economics*, Londra: MacMillan.
- Johnson, M. A., Brown, C. H., & Wells, S. J. (2002). Using classification and regression trees (CART) to support worker decision making. *Social Work Research*, 26(1), 19-29.
- Karşıyakalı, B. (2008). Türkiye’de Ekonomik Büyümenin Kaynaklarının Analizi. Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı (Dan. İ. Baray), Yayınlanmamış Doktora Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Kibritçioğlu, A. (1998). İktisadi Büyümenin Belirleyicileri ve Yeni Büyüme Modellerinde Beşeri Sermayenin Yeri. *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 53(1-4), 207-230.
- Lucas, R. E. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.
- Mercan, M. (2014). Ekonomik Büyümenin Belirleyicileri ve 2008 Krizi: Orta Asya Ülkeleri ve Türkiye Ekonomisi İçin Panel Veri Analizi. *Yönetim ve Ekonomi*, 21(1), 125-142.
- Milačić, L., Jović, S., Vujović, T., & Miljković, J. (2017). Application of Artificial Neural Network with Extreme Learning Machine for Economic Growth Estimation. *Physica A*, 465, 285-288.
- Önal, H. (2009). Ekonomik Büyümenin Belirleyicileri ve Sanayileşme Stratejileri. Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi (Dan. M. Şişman), İstanbul: Marmara Üniversitesi.
- Rahman, N. H. A., Ismail, S., & Ridzuan, A. R. (2020). A Comprehensive Review on the Determinants of Economic Growth for Indebted Countries. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, 10(2), 223-232.
- Romer, P. M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.

- Rutkowski, L., Jaworski, M., Pietruczuk, L., & Duda, P. (2014). The CART Decision Tree for Mining Data Streams. *Information Sciences*, 266, 1-15.
- Sanusi, N. A., Moosin, A. F., & Kusairi, S. (2020). Neural Network Analysis in Forecasting the Malaysian GDP. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(12), 109–114.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, New York ve Londra: McGraw-Hill.
- Singh, S., & Gupta, P. (2014). Comparative study ID3, cart and C4. 5 decision tree algorithm: a survey. *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*, 27(27), 97-103.
- Snowdon, B. & Vane, H. R. (2005). *Modern Macroeconomics Its Origins, Development and Current State*, Birleşik Krallık, ABD: Edward Elgar.
- Sokolov-Mladenović, S., Milovančević, M. Mladenović, I., & Alizamir, M. (2016). Economic Growth Forecasting by Artificial Neural Network with Extreme Learning Machine Based on Trade, Import and Export Parameters. *Computers in Human Behaviour*, 65, 43-45.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution of the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.
- Stenberg, D., & Phillip, C. (1995). *CART Classification and Regression Trees*. Salford Systems, San Diego, CA, USA.
- Syaraswati, R. A., Salamet, I., & Winarno, B..(2017). Classification of Status of the Region on Java Island Using C4.5, CHAID and CART Methods. *Journal of Physics: Conf. Series*, 855, 1-8.
- Tan, P. N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2016). *Introduction to Data Mining*. Pearson Education India.
- Tunalı, H. & Erbelet, E. (2017). Ekonomik Büyüme ve Sanayileşme İlişkisinde Kaldor Yasasının Türkiye’deki Geçerliliğinin Analizi. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 1-15.
- Waheed, T., Bonnell, R. B., Prasher, S. O., & Paulet, E. (2006). Measuring performance in precision agriculture: CART-A decision tree approach. *Agricultural water management*, 84(1-2), 173-185.