

Vergi Kaçırma Analizinde İki Yeni Yöntem: Ajan Tabanlı Modelleme ve Ekonofizik

M. Oğuz ARSLAN*

ÖZ

Günümüzde mükelleflerin vergi kaçırma davranışının açıklanması oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. Bu amaçla geleneksel yöntemlere ek olarak hesaplamalı yöntemler olan ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik gibi yeni yöntemlere başvurulmaktadır. Bu çalışmanın amacı ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik yöntemlerini tanıtmaktır. Bu çerçevede iki örnek vergi kaçırma modeli incelenmiştir. Bu modeller ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik yöntemlerinin her ikisinin de vergi kaçırma davranışlarının karmaşık yapısını açıklamada uygun ve gerçekçi yaklaşımlar olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, her iki yöntemin yalnızca ekonomi bilimi için değil, sosyal bilimlerin tüm dalları için yeni olanaklar sunduğu açıktır.

Anahtar Kelimeler: Vergi Kaçırma; Ajan Tabanlı Modelleme; Ekonofizik

JEL Sınıflandırması: H26; B41; C63

Two New Methods for Analyzing Tax Evasion: Agent-based Modeling and Econophysics

ABSTRACT

Today explaining tax evasion behaviors of taxpayers has become a rather important issue. To this aim new methods such as agent-based modeling and econophysics as computational methods are used in addition to traditional methods. The aim of this study is to introduce agent-based modeling and econophysics methods. In this context two exemplar tax evasion models are analyzed. Those models suggest that either agent-based modeling and econophysics methods might be evaluated as appropriate and realistic approaches in explaining complex nature of tax evasion behavior. In this regard, it is clear that both methods provide new opportunities not only for economics science but also for all branches of social sciences.

Keywords: Tax Evasion; Agent-based Modeling; Econophysics

JEL Classification: H26; B41; C63

GİRİŞ

Mükelleflerin vergi kaçırma yoluyla vergi yükünden kurtulma çabaları eski çağlardan bu yana karşılaşılan bir sorundur. Ancak bu sorunun sistematik olarak ele alınması ve bilimsel anlamda analizi ekonomi literatüründe 1970'li yıllardan itibaren gerçekleştirilmiştir. Bu yıllardan sonra yapılan vergi kaçırma analizlerinde genellikle ekonomik fayda maksimizasyonuna ve ahlaki yaklaşımlara başvurulmuştur. Ancak günümüzde vergi kaçırma davranışını yalnızca ekonomik fayda maksimizasyonuna veya ahlaki teorilere dayalı olarak açıklamak yeterli gelmemektedir. Sosyal ve ekonomik yaşamın karmaşıklığı ve buna ek olarak

* Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Maliye Bölümü. moarslan@anadolu.edu.tr
(Makale Gönderim Tarihi: 05.06.2017 / Yayına Kabul Tarihi: 31.07.2018)

Doi Number: 10.18657/yonveek.319218

bireyler (ajanlar) arası etkileşimlerin yoğunluğu vergi kaçırma sorunu ile mücadelede edebilmek için yeni yaklaşımların ve modellerin kullanılmasını gerekli hale getirmektedir.

Son dönemde ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik yaklaşımlarının yaygınlık kazanmaya başlaması günümüzde bu iki yaklaşımın birçok konuda olduğu gibi vergi kaçırma analizinde de kolaylıkla kullanılabilmesi anlamına gelmektedir. Bu çerçevede gerçekten de son yıllarda ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik yaklaşımları kullanılarak vergi kaçırma ve vergi uyumu davranışlarının analiz edildiği birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar kendi başına karar alan ve sınırlı rasyonel bireyler olarak mükelleflerin davranışlarını kendi aralarındaki farklılıkları ve etkileşimleri dikkate alarak denge dışı ve doğrusal olmayan bir sistemde analiz etmeye çalışmaktadır. Bu çalışmaların genel sonuçları mükelleflerin vergi kaçırma kararlarının karmaşık yapısını açıklamada her iki yeni yaklaşımın da oldukça uygun ve gerçekçi yöntemler olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma beş kısımdan oluşmaktadır. Giriş kısmını izleyen birinci kısımda kavramsal olarak vergi kaçırma konusuna değinilmiş ve vergi kaçırma analizinde kullanılan ekonomik yöntemlere ilişkin bilgiler verilmiştir. İkinci kısımda ajan tabanlı modelleme yaklaşımı açıklanmakta ve ajan tabanlı vergi kaçırma analizi ilgili literatür ve örnek bir model yardımıyla incelenmektedir. Üçüncü kısımda ise ekonofizik yaklaşımı açıklanmakta ve ekonofiziksel vergi kaçırma analizi ilgili literatür ve örnek bir model yardımıyla incelenmektedir. Son kısım çalışmanın sonuç kısmıdır.

I. VERGİ KAÇIRMA VE ANALİZİ

Vergi kaçırma kullanılan yeni yöntemleri incelemeye önce vergi kaçırma kavramına kısaca değinmek ve literatürde vergi kaçırma davranışının nasıl analiz edildiğini yakından incelemek yararlı olacaktır.

A. Vergi Kaçırma

Vergi kaçırma, bireylerin yasa dışı yollarla ve kasıtlı olarak vergi yükünü azaltması eylemleri olarak tanımlanmaktadır (Alm, 2012). Bu çerçevede vergi kaçırma, geliri olduğundan daha düşük göstermek, yasal olarak indirilebilecek harcamaları olduğundan daha fazla göstermek, beyanname vermemek gibi birçok yöntemle gerçekleştirilebilir (Saruç, 2015). Literatürde genellikle gelir vergisi bağlamında ele alınan vergi kaçırma, diğer vergiler için de geçerli olan bir olgudur.

Vergi kaçırma kamu maliyesi açısından birçok bakımdan önemli bir konudur. Vergi kaçırma öncelikle kamu gelirlerini azaltan ve buna bağlı olarak kamu mallarının sunumunu daraltan bir etkiye sahiptir. İkinci olarak, vergi kaçırma davranışları ile bağlantılı olarak bireyler çalışma, yatırım gibi kararlarını değiştirerek kaynak kullanımında etkinsizliğe neden olurlar. Ayrıca, vergi kaçırma toplumdaki adalet duygusunu zedeleme riskini de beraberinde getirir. Bu açılardan ele alındığında vergi kaçırmanın etkilerini dikkate almadan vergilemenin ekonomi üzerindeki gerçek etkisini anlamak olanaksızdır (Alm, 2012).

Bir ekonomide vergi kaçırmanın gerçek boyutlarını ölçmek oldukça zor, hatta olanaksızdır. Bunun yerine çeşitli tahmin yöntemleri kullanarak ölçüm söz konusudur. Bu yöntemler arasında en doğru bilgileri veren tahmin yöntemi, doğal

olarak, bireysel beyannamelerin istatistiksel örneklem yoluyla denetlenerek vergi kaçırmanın doğrudan doğruya ölçülmesidir. Bu yöntemin en geniş çaplı uygulaması ABD’de 1963-1998 yılları arasındaki kişisel gelir vergisi beyannamelerinin her üç yılda bir istatistiksel örneklem yoluyla denetlenmesi ile gerçekleştirilen Vergi Uyumlu Ölçüm Programı (Tax Compliance Measurement Program – TCMP)’dir (Smith, 2015). Bu yöntemin dışında vergi kaçırmanın boyutları kayıt dışı ekonominin boyutlarına dayanarak, anket kullanarak, beyan edilen gelirlerin bir oranı alınarak, kontrollü saha deneyleri kullanılarak, elektrik tüketimi gibi çeşitli göstergeler temel alınarak, birçok geleneksel ve modern yöntemle tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

B. Vergi Kaçırma Analizi

Tahmini ölçüm sonuçlarına dayalı olarak vergi kaçırmaı açıklayabilmek için ise aşağıda kısaca özetlenen teorik, ampirik ve deneysel ekonomik analiz yöntemlerine başvurulmaktadır.

Teorik yöntemler: Suç ekonomisi yaklaşımı olarak da anılan Allingham ve Sandmo modeli ve çeşitli versiyonları vergi kaçırmanın açıklanmasında kullanılan temel teorik yöntemlerdir. Allingham ve Sandmo modeline göre bir bireyin vergi kaçırma davranışını belirleyen temel faktör vergi ceza oranı ve denetim oranına göre belirlenen beklenen faydanın büyüklüğüdür (Allingham ve Sandmo, 1972).

Allingham ve Sandmo modelinde beklenen fayda fonksiyonu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$EU(x) = (1 - p)(y - tx)^{\alpha} + p\phi y - ty - f(ty - tx)^{\beta} \quad (1)$$

Bu modelde, p , yakalanma (denetim) olasılığını; y , yıllık vergilendirilebilir geliri; Φ , beyan edilmeyen her her bir dolar başına ceza oranını; α , nispi riskten kaçınma katsayısını ifade etmektedir. Eşitlik (1)’in türevi alındığında, klasik modele göre, riske duyarsız (risk-neutral) bir mükellef $p < \frac{1}{1+\phi}$ iken herhangi bir gelir beyan etmeyecektir.

Ampirik yöntemler: Vergi kaçırmanın ampirik analizi vergi uyumsuzluğuna ilişkin bazı ölçüler gerektirmektedir. Ancak, bu ölçüleri bulmak zordur. Bu konuda geniş bir literatür mevcut olmakla birlikte, bazı önemli çalışmalara bakılarak bazı temel sonuçlara varılabilir. Bu sonuçlardan ilki, yüksek vergi oranlarının genellikle daha düşük vergi uyumuna yol açmasıdır. İkincisi, denetim oranlarındaki artışın beyan edilen geliri bir miktar artırmasıdır. Ancak, bu ampirik çalışmalara dikkatle yaklaşmak gerekmektedir. Bu konudaki tüm ampirik çalışmalardaki temel güçlük bireysel beyan davranışına ilişkin güvenilir bilgilerin bulunmayışıdır (Alm, 2012).

Deneysel yöntemler: Bu yöntemler gerçek yaşamdaki vergi beyanı kararlarının laboratuvar ortamına taşınmasıyla uygulanır. Bu yöntemlerin esası, deneklerin kendilerine verilen gelir miktarını vergi oranı, denetim oranı, ceza oranı ve kamu transferi düzeyi gibi faktörleri göz önüne alarak vergilendirilmek üzere beyan etmeleridir (Saruç, 2015). Teorik yöntemlerin gerçekte vergi kaçırma

etkili olabilecek olan birçok faktörü dikkate almaması ve ampirik yöntemlerin güvenilir bilgilere sahip olmaması nedeniyle son dönemde vergi kaçırma konusuna en çok başvurulan yöntemler deneysel yöntemlerdir. Deneysel yöntemler teorik olarak önerilen birçok faktörü dikkate alan yöntemler olup, ayrıca bireysel uyum kararlarına ilişkin olarak ekonometrik tahminlere olanak verecek şekilde eksiksiz veri üretebilmektedir. Ayrıca, deneysel yöntemler araştırmacıya kurumları ve teşvikleri kontrol olanağı sağladığı gibi, oldukça esnek yöntemlerdir (Alm ve Jacobson, 2007).

Bütün avantajlarına rağmen vergi kaçırma (uyumu) deneylerinin bazı açılardan eleştirildiği görülmektedir. Bunlardan en önemlisi, bu deneylerde denek olarak kullanılan öğrencilerin tipik vergi mükelleflerini temsil edemeyeceği yönündeki eleştiridir. İkinci önemli eleştiri, laboratuvar ortamında birçok ilişkili faktörün kontrolünün olanaklı olmadığına ilişkin görüştür. Diğer bir önemli eleştiri ise, deneye katıldıklarını bilen deneklerin davranışlarını uyarılma eğiliminde olacakları iddiasıdır. Bu nedenlerden dolayı deney sonuçlarının çok dikkatli yorumlanması gerektiği ileri sürülmektedir (Alm ve Jacobson, 2007).

Vergi kaçırma ile ilgili olarak laboratuvar ortamında yapılan çoğu kontrollü deneyden ortaya çıkan sonuçlara göre (Alm, 2012);

- (a) yüksek bir vergi oranı daha az vergi uyumuna yol açmaktadır.
- (b) yüksek denetim oranı daha fazla vergi uyumuna yol açmaktadır – ki bu vergi uyumu düzeyi beklenen fayda teorisinde öngörülen uyum düzeyinden de fazladır.
- (c) vergi ceza oranındaki artışlar vergi uyumunu çok az artırmaktadır.
- (d) bir kamu malının gönüllü vergi ödemeleri ile finansmanı durumunda ve gruplara ve bireylere ödül verilmesi durumlarında daha yüksek vergi uyum düzeylerine erişilmektedir.

Son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanan ve vergi kaçırmanın ekonomik analizinde de kullanılan iki yeni deneysel yöntem ortaya çıkmıştır. Birbirine bağlantılı kullanılabilen bu yöntemler ‘ajan tabanlı modelleme’ (agent-based modeling) ve ‘ekonofizik’dir (econophysics). Bu yöntemlerde kullanılan denekler gerçek kişiler değil, bilgisayar ortamında programlanan ve gerçek kişileri, grupları veya kurumları temsil etme yeteneğine sahip olduğu varsayılan ‘ajanlar’dır (agents). Dolayısıyla, bu yöntemlerde deney ortamı olarak laboratuvarların yerine bilgisayarlar ve sunucular kullanılmaktadır.

II. AJAN TABANLI MODELLEME VE AJAN TABANLI VERGİ KAÇIRMA ANALİZİ

Yeni bir yöntem olarak ajan tabanlı modelleme olgusuna ve bu modelleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş vergi kaçırma analizlerine ayrı ayrı değinmek gerekmektedir.

A. Ajan Tabanlı Modelleme

Ajan tabanlı modelleme tanım olarak ‘bir araştırmacıya, *bir ortamda* etkileşim halinde bulunan *ajanlardan* oluşan modeller aracılığıyla *yaratma, analiz etme ve deney yapma* olanağı veren *hesaplamalı bir yöntemdir*’ (Gilbert, 2008). Ajan tabanlı modellemenin sosyal bilimler içerisindeki tarihi ve ilk örneklerinin

görölmeye başlanması 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Ancak, ajan tabanlı modellemede ilk önemli modeller ve gelişmeler 1960'lı yıllarda özellikle ABD'deki üniversitelerin araştırma merkezlerinde bilgisayarların kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır (Gilbert ve Troitzsch, 2004).

Thomas Schelling'in 1971 yılında geliştirdiği hücresele kendi kendine çalışan makine (cellular automaton) türü Etnik Ayrışma Modeli (Schelling, 1971) ajan tabanlı modelleme yönteminin sosyal bilimler içerisindeki gelişiminin en önemli ayağı olarak kabul edilmektedir. Bu modeli geliştirirken Schelling'in merak ettiği husus, herkesin, komşularının en azından makul bir oranının kendisine benzer olduğu bir yerde oturmak istemesi durumunda neler olacaktıydı. Bu modelin şaşırtıcı sonucu, bireylerin farklı etnik kimlikten bireylerle yaşamaya oldukça hoşgörü ile bakmalarına rağmen, az oranda da olsa kendine benzeyen bireylerle yaşamak istemeleri sonucu yine de bir ayrışmanın gerçekleşmesi ve farklı etnik grupların ortaya çıkmış olmasıdır. Schelling'in ifadesiyle bu olgu mikro motivasyonlardan makro davranışların türemesidir (Wilensky ve Rand, 2015).

Ajan tabanlı modelleme bir sistemin davranışında dengeyi esas alan, ajanların doğrudan temsil edilmediği ve karmaşıklık olgusunun dikkate alınmadığı standart modelleme ve analiz yöntemlerinden oldukça farklıdır. Öyle ki, standart yöntemlerle arasındaki bu belirgin farklılık nedeniyle ajan tabanlı modelleme sosyal bilimlerin 'doğru matematiği' olarak nitelendirilmektedir (Borrill ve Tesfatsion, 2011). Bu modelleme yöntemini diğer yöntemlerden bu ölçüde farklı kılan özellikler şu şekilde özetlenebilir (Epstein, 2006; Gilbert, 2008; David, 2013; Complexity Explorer):

- *Heterojenlik*: Ajan tabanlı modellemede temsili ajan kullanılmamakta ve ajanlar homojen aktörler olarak tek bir havuzda toplanmamaktadır. Tam tersine, bu yöntemde ajanlar genetik olarak, kültürel olarak, ekonomik olarak, sosyal ilişkileri bakımından ve tercihleri bakımından çeşitlilik göstermektedir. Bu özelliğe göre, her bir ajan kendi tercihlerine ve hatta kendi eylem kurallarına göre işlem yapar.
- *Sınırlı rasyonellik (Bounded rationality)*: Ajan tabanlı modelleme yönteminde ajanlar sınırlı bir biçimde rasyonel davranırlar. Başka bir deyişle, ajanların karar alma sürecinde kullandıkları bilişsel işlem miktarı sınırlıdır. Sınırlı rasyonellik varsayımı sınırlı enformasyon ve sınırlı hesaplama gücü olarak iki alt unsura ayrılır.
- *Otonomi*: Bu yöntemde ajanların davranışları üzerinde merkezi veya 'yukarıdan aşağıya' bir kontrol söz konusu değildir. Aksine, ajanların ortak davranışı 'adem-i merkezi' biçimde veya 'aşağıdan yukarıya' doğru oluşur. Bu özellik nedeniyle sistemde zaman zaman 'belirme' (emergence) davranışı görülür.
- *Uyumluluk*: Bu modelleme yönteminde etkileşim halindeki ajanlar bireysel veya toplu olarak çevresel değişikliklere uyum gösterme becerisine sahiptir. Uyumluluk tanım olarak ajanların uygun zamanda davranma ve karar değiştirme kapasitesini ifade eder.

- *Öğrenme*: Ajan tabanlı modellemede ajan ve grup düzeyinde öğrenme simüle edilebilir. Ajanların öğrenme davranışı bireysel öğrenme, evrimsel öğrenme ve sosyal öğrenme olmak üzere üç çeşittir.
- *Yerel etkileşim*: Bu modellemede ajanlar arası etkileşim kural olarak yerel düzeyde gerçekleşmekle birlikte, bazı tür ağ yapılarının varlığında kısmen küresel boyutta da gerçekleşebilir. Ajanlar arası etkileşim bir ajandan diğer bir ajana veri akışı şeklinde olabilmektedir.
- *Denge dışılık (Non-equilibria)*: Ajan tabanlı modellerde zorunlu bir denge hali aranmaz. Bu modellerde denge dışılığa yol açan ‘büyük ölçekli faz geçişleri’ (large-scale phase transitions), ‘dönüm noktası’ (tipping point) ve ‘belirme’ davranışları dengeyi esas alan yöntem ve teorilerden farklıdır.
- *Doğrusal olmama (Non-linearity)*: Ajan tabanlı modeller genellikle modelin küresel davranışının ‘başlangıç koşullarına hassas duyarlılık’ (high sensitivity to initial conditions) yaratacak şekilde patika bağımlı (path-dependent), kendi kendini zorlayan (self-reinforcing) özellikler taşıdığı doğrusal olmayan etkiler gösterir.

B. Ajan Tabanlı Vergi Kaçırma Analizi: Literatür

Literatürde ajan tabanlı modelleme kullanılarak vergi kaçırma ve vergi uyumu davranışlarının analiz edildiği birçok çalışma yapılmıştır. Bu konudaki öncü çalışma Mittone ve Patelli'nin (2000) vergi mükelleflerinin vergi kaçırmadaki taklitçi davranışlarını esas alan çalışmasıdır. Bu çalışmada, başlangıçtaki vergi mükellefi karmasının denetimin olmadığı ve tekdüze denetimin olduğu durumlarda vergi kaçırma üzerindeki etkilerini sınamıştır. Çalışmada oluşturulan modelde vergi mükellefleri dürüst, taklitçi ve tamamen bedavacı olmak üzere üç şekilde tanımlanmıştır. Bu modelin sonucunda, çok az zorlama altında ve hatta bir miktar dürüst vergi mükelleflerin varlığında bile tüm vergi mükellefleri (ajanlar) neredeyse tamamen vergi kaçırma davranışı içinde olmuştur.

Davis vd. (2003) tarafından yapılan bir başka ajan tabanlı modellemede vergi mükellefleri dürüst ve kaçakçı olarak iki şekilde tanımlanmıştır. Bu modelin sonuçlarına göre ise vergi otoritesi zorlayıcı önlemleri etkin vergi uyum düzeyini artırıcı bir araç olarak kullanmaktan çok vergi kaçırma önleyici bir araç olarak kullanılmalıdır.

Diğer yandan, Antunes vd. vergi kaçırma davranışını birkaç farklı çalışmada ele almıştır (Antunes vd., 2006, 2007a, 2007b). Antunes vd. (2006, 2007a) bireyler açısından, güven, akran algısı, sosyal taklit, komşuların zorlaması ve şöhret gibi bazı olguların beklenen faydayı maksimize etme davranışından daha önemli olduğunu ileri sürmektedir. Antunes vd. (2007b), dolaylı vergilerdeki vergi uyumu çerçevesinde mikro düzeydeki motivasyonlar ile makro düzeydeki sonuçların etkileşimini ele almıştır. Bu çalışma, heterojen ajanlarla yapılan sosyal simülasyonun, mükelleflerin vergi uyumu kararlarının karmaşık yapısını ortaya koymada oldukça elverişli bir yöntem olduğu yönünde genel bir sonuca ulaşmıştır.

Korobow vd. (2007) ağırlıklandırılmış komşuluk kazançlarının (payoffs) vergi mükellefi ajanlar üzerindeki etkilerini modellemiştir. Bu modelin sonuçlarına

göre zorlamanın olduğu bir sistemde, komşusunun strateji kazançları hakkında sınırlı bilgiye sahip ajanlardan oluşan bir toplum, komşusunun strateji kazançlarının farkında olan ve bu bilgiyi kendi bireysel vergi uyum kararlarında kullanan ajanlardan oluşan bir topluma göre daha yüksek bir vergi uyum düzeyine ulaşmaktadır.

Konu ile ilgili başka bir çalışmada Hokamp ve Pickhardt (2010) alternatif vergi politikaları uygulandığında gelir vergisinde vergi kaçırmanın evrimini analiz etmiştir. Vergi mükelleflerinin faydacı, taklitçi, dürüst ve rastlantısal davrananlar olarak kategorize edildiği bu çalışmada etik normların ve zamanaşımı etkilerinin vergi kaçırmanın boyutlarını önemli ölçüde düşürdüğü sonucuna varılmaktadır.

Korobow vd. (2007) ile Hokamp ve Pickhardt (2010)'u temel alan bir çalışmada Andrei vd. (2011) çeşitli türdeki ağ yapılarının toplam vergi uyumu üzerindeki etkilerini sınımış ve gerçekte bu ağ yapılarından sadece Erdős Renyi ile Güç Yasası (Power Law) ağ yapılarında enformasyon ve etkinin diğer ağ yapılarına göre çok daha hızlı yayıldığı ve dolayısıyla bu ağlarda vergi mükelleflerinin davranışlarının komşularının davranışlarından önemli ölçüde etkilendiği sonucuna erişmiştir.

Ayrıntılı bir çalışmada Bloomquist (2011) küçük işletmelerde beyan uyumunu ajan tabanlı evrimsel eşgüdüm modeli çerçevesinde ele almıştır. Bu modelde vergi mükellefleri dürüst, stratejik, kaçakçı ve rastlantısal davrananlar olarak dört şekilde tanımlanmıştır. Modelin sonuçlarına göre birkaç zaman periyodu sonrasında başlangıçtaki dürüst vergi mükellefi sayısında bir azalış, hem kaçakçı hem de stratejik vergi mükellefi sayısında ise bir artış gerçekleşmektedir. Bu modele göre ayrıca vergi mükelleflerinin uyum davranışı gösterip göstermemesinde komşularının davranışı temel bir faktör değildir.

Nordblom ve Zamac (2012) İsveç'te karaborsada hizmet satın alımlarına ilişkin yapılan bir ankete dayanarak bir ajan tabanlı vergi kaçırma modeli oluşturmuş ve bu modelin sonucuna göre yaşlı vergi mükelleflerinin genç vergi mükelleflerine göre oldukça az vergi kaçırdıkları sonucuna varmıştır. Bu sonuçtan hareketle, vergi kaçırma ile mücadele için her iki vergi mükellefi grubuna yönelik olarak farklı önlemlerin alınması önerilmiştir.

Llacer vd. (2013) tarafından İspanya için oluşturulan ajan tabanlı vergi kaçırma modelinde, sosyal etkiler ve normatif taahhütler belirli caydırıcı koşullar altında daha makul uyum düzeyleri ortaya çıkarırken yalnızca rasyonel ajanlar vergi kaçırma aşırı tahmin etmektedir (overestimate). Ayrıca, ilginç bir şekilde, sosyal etki vergi uyumunu düşük ve orta düzeyde caydırıcı koşulların varlığında optimize ederken, yüksek caydırıcı koşulların varlığında optimize etmemektedir. Yine İspanya'ya ilişkin olarak, Llacer vd. (2013) tarafından oluşturulan modeli baz alan Noguera vd. (2014), sosyal normların her zaman vergi uyumunu optimize etmediği yargısına varmıştır.

Garrido ve Mittone (2013) Şili ve İtalya verisinden yola çıkarak vergi kaçırmanın sınırlandırılmasında optimal denetim programlarının nasıl olması gerektiğini ajan tabanlı bir model kullanarak araştırmış ve bir optimal denetim

programının (a) gelir dağılımı, (b) davranış örneklerinin belirlenmesi ve (c) mükelleflerin geçirdiği denetim sayısı olmak üzere üç faktöre bağlı olduğunu ileri sürmüştür.

Arslan ve İcan'ın (2013a, 2013b) Bloomquist (2011)'i esas alan iki ajan tabanlı vergi uyumu çalışmasında ise birbirinden farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Arslan ve İcan (2013a)'da Türkiye örneğinden hareketle vergi uyumunda Bloomquist (2011)'deki gibi bir ajan tabanlı evrimsel strateji simülasyonunun geçerli olduğu ve komşuluk etkisinin belirleyici bir faktör olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna karşın, Arslan ve İcan (2013b)'de von Neumann ve Moore komşulukları çerçevesinde yapılan vergi uyumu simülasyonunda her iki komşuluk türünün de vergi mükelleflerinin uyum davranışını büyük ölçüde azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Bloomquist ve Koehler (2015) de Bloomquist (2011)'de geliştirilen modeli kullanarak ve kalibre ederek dört tür denetim stratejisinin etkinliğini sınamıştır. Detaylı vergi beyanamesi karakteristiklerini, mükelleflerin öğrenme davranışlarını, sosyal ağları ve vergi idaresinin zorlama önlemlerini de dikkate alan bu çalışmanın sonucuna göre, yanlış beyan edilen vergi matrahı miktarının azaltılmasında etkin strateji her vergi mükellefi türü için asgari düzeyde bir denetimin gerçekleştirilmesidir.

C. Ajan Tabanlı Vergi Kaçırma Analizi: Örnek Bir Model

Ajan tabanlı vergi kaçırma analizinde örnek model olarak Arslan ve İcan'da (2013a) Türkiye'de vergi kaçırmanın analizi için kullanılmış olan 'Tax evasion: Turkish case' adlı model (İcan ve Arslan, 2015) ele alınacaktır. Bu model ajan tabanlı modelleme ve simülasyonda en çok kullanılan bilgisayar dillerinden ve programlarından biri olan NetLogo'da (Wilensky, 1999) yazılmış ve çalıştırılmıştır. NetLogo programı, resmi İnternet sitesinden (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>) tüm işletim sistemleri için indirilebileceği gibi, buradan yönlendirilen NetLogo Web (www.netlogoweb.org) adlı İnternet sitesinde çevrimiçi olarak da çalıştırılabilir.

Örnek model, ABD'deki küçük işletme sahiplerinin vergi uyumunu simüle etmek için Blomquist (2011) tarafından geliştirilen Küçük İşletme Vergi Uyum Simülatörüne (Small Business Tax Compliance Simulator – SBTCS) dayalı olarak oluşturulmuş bir modeldir. Küçük İşletme Vergi Uyum Simülatörü modelinde işletme sahiplerinin heterojen vergi ahlakına ve buna bağlı olarak heterojen vergi uyum düzeyine sahip olduğundan yola çıkılarak dört farklı vergi mükellefi arketipi tanımlanmıştır. Bu arketipler;

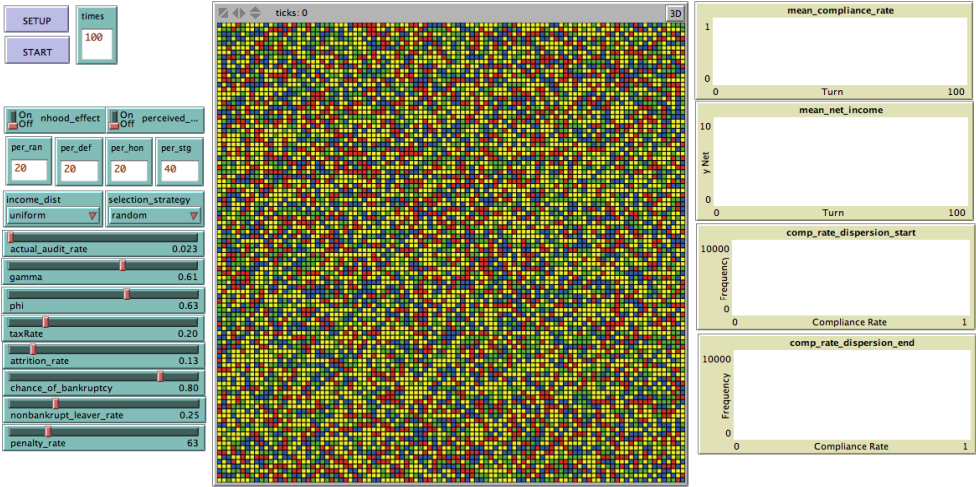
- (a) kaçakçılar (vergi beyanında tamamen uyumsuz davranan kötü niyetli ajanlar),
- (b) dürüstler (vergi beyanında tamamen uyumlu davranan iyi niyetli ajanlar),
- (c) stratejik davrananlar ve
- (d) rastlantısal davrananlardır.

Stratejik davrananlar kendi uyum davranışlarını daha önceden denetim geçirip geçirmediklerine bağlı olarak ayarlamaktadır. Bu ajanlar eğer daha önce

denetim geçirmişse vergi uyum düzeylerini hafif bir miktarda artırarak basit bir güçlendirilmiş “öğrenme” yöntemi kullanmaktadır. Rastlantısal davrananlar ise vergisel düzenlemeleri yanlış anlamının veya bu düzenlemeler hakkında yanlış bilgi sahibi olmanın bir sonucu olarak rastlantısal davranmaktadır.

Örnek modelin başlangıçtaki arayüzü Şekil 1’de görülmektedir. Modelin dünyası başlangıçta 101x101 iki boyutlu örgü üzerinde dört tür arketipi temsil eden rastgele serpiştirilmiş toplam 10.000 ajandan oluşmaktadır. Bu arketipler farklı şekilde renklendirilmiştir (modelin çalıştırılmasında görülebileceği gibi, yeşil renkte olanlar dürüstleri, kırmızı renkte olanlar kaçakçıları, sarı renkte olanlar stratejik davrananları ve mavi renkte olanlar rastlantısal davrananları göstermektedir). Şekil 1’de görüldüğü gibi, örnek modelin kalibrasyonunda farklı düğmeler, anahtarlar, ayarlayıcılar ve seçiciler kullanılmaktadır. Model ilk çalıştırıldığında bu araçlar otomatik olarak bazı değerlere ayarlanmış olmaktadır.

Şekil 1. Örnek Modelin Başlangıç Arayüzü



Kaynak: İcan ve Arslan (2015a).

Modeldeki araçların işlevleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Türkiye’ye ilişkin olarak, bu araçlardan cari denetim oranı, vergi ceza oranı, vergi oranı ve mükellefiyetten çıkış oranını gösteren ayarlayıcılar modelin başlangıcında otomatik olarak Gelir İdaresi Başkanlığı ve Gelir Kontrolörleri Derneği’nin 2006-2010 yılları verisinden türetilen veriye ayarlanmaktadır. Ceza oranı teknik bir kısıt nedeniyle modelde iki kez yer almaktadır ve her ikisi de aynı değerde belirlenmek zorundadır.

Tablo 1. Örnek Modeldeki Araçlar ve İşlevleri

<i>Araç</i>	<i>İşlev</i>
setup	Modeli başlangıçta yapılandırma
start	Modeli çalıştırma
times	Modelin kaç kez çalıştırılacağını belirleme
nhood_effect	Komşuluk etkisini açıp kapatma
perceived_ar	Algılanan denetim oranını açıp kapatma
per_ran	Rastlantısal davrananların oranı (%)
per_def	Kaçakçıların oranı (%)
per_hon	Dürüstlerin oranı (%)
per_stg	Stratejik davrananların oranı (%)
income_dist	Mükellefler arasındaki gelir dağılımının seçilmesi
selection_strategy	Vergi denetim stratejisinin seçilmesi
actual_audit_rate	Cari denetim oranı
gamma	Riskten kaçınma oranı
phi	Ceza oranı (%) (= penalty_rate / 100)
taxRate	Vergi oranı
attrition_rate	Mükellefiyetten çıkış oranı
chance_of_bankruptcy	İflas olasılığı
nonbankrupt_leaver_rate	İflas haricinde mükellefiyetten kaçış oranı
penalty_rate	Ceza oranı (= phi x 100)

Kaynak: İcan ve Arslan (2015a).

Ayrıca, örnek modelin seçilen değerler altında çalıştırılması sonucunda mükellef topluluğunun ortalama uyum oranı ve ortalama net geliri ile modelin başlangıcındaki ve sonundaki uyum oranlarının frekans dağılımı ayrı grafikler halinde verilmektedir. Yeni parametreler ve grafikler ekleyerek örnek modeli geliştirmek ve model sonuçlarını tüm aşamalarıyla kaydederek sayısal ve ekonometrik analize tabi tutmak her zaman mümkün olabilmektedir.

Örnek model tüm mükellef topluluğunun ortalama uyum davranışının evrimini simüle etmeyi amaçlamaktadır. Her bir zaman diliminde (tick) vergi mükelleflerinin, kullanıcı tarafından seçilen “tekdüze” veya “lognormal” gelir dağılımına göre bir miktar gelir elde ettiği varsayılmaktadır. Ayrıca, mükellefler kendi uyum seviyelerini ait oldukları arketip sınıfının tutumlarına göre

oluşturmaktadır. Sonrasında bazı ajanlar (ki bu ajanların tam sayısı denetim oranı ve ilişkili parametreler tarafından belirlenmektedir) üç tür mükellef seçim yöntemine göre denetim için seçilmektedir. Bu yöntemler; “rastlantısal seçim”, “DIF-benzeri seçim” (Amerikan Gelir İdaresinin gerçek yaşamdaki mükellef seçim prosedürünün bir benzeri) ve “yarı-yarıya seçim” (ilk iki yöntemin karması) yöntemleridir. Eğer vergi beyanlarında bir eksiklik tespit edilirse, ajanlar hem eksik beyan nedeniyle eksik ödenen vergiyi hem de önceden belirlenmiş oranda uygulanacak bir vergi cezasını ödemek zorundadır.

Blomquist (2011)’in SBTCS modelinden farklı olarak, örnek model eğer (cari veya algılanan) denetim oranı belirli bir eşik değerin üzerindeyse hangi arketip sınıfından olursa olsun tüm ajanların tam uyumlu arketipe dönüştüklerini varsaymaktadır. Bu eşik değer Allingham ve Sandmo’nun (1972) beklenen fayda teorisinden gelmektedir. Ancak, örnek modelde vergi mükellefleri hiç beyanda bulunmamak yerine, eşik değere kadar ait oldukları arketip sınıfının beyan davranışını göstermektedir. Eşik değer aşıldıktan sonra hangi arketip sınıfından olursa olsun her ajan tamamen uyumlu davranmaktadır.

Örnek model algılanan denetim oranını ve komşuluk etkisini SBTCS modelindeki gibi uygulamaktadır. Anahtarının açık olması durumunda, algılanan denetim oranı Bloomquist (2011)’de verilen aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

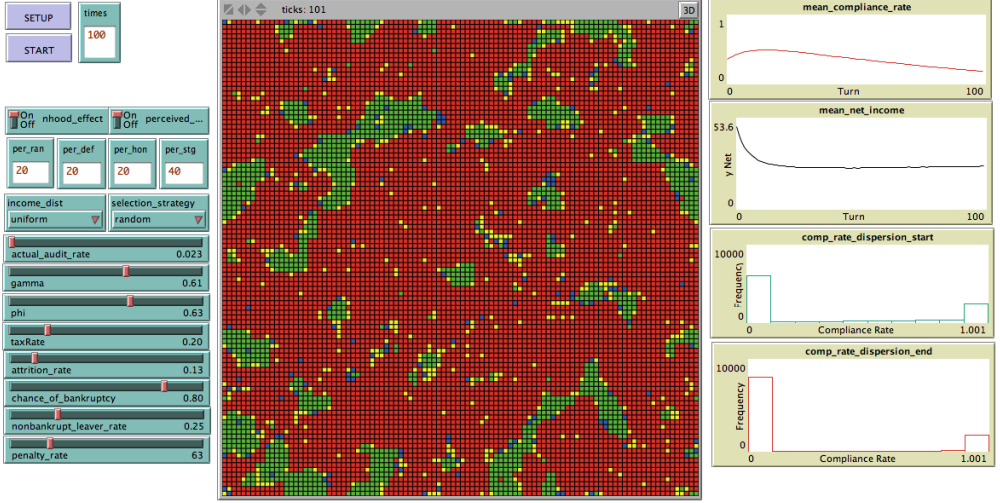
$$\hat{p} = 1 - \frac{(1-p)^\gamma}{(p^\gamma + (1-p)^\gamma)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (2)$$

Yukarıdaki formülde γ , cari denetim oranı için ağırlıklandırılmış bir parametre olarak kullanılmaktadır.

Örnek modelde iflas eden veya mükellefiyeti terk eden ajanların yerine gelen ajanlar eğer kendi (von Neumann) komşuluğu içinde kaçakçı veya dürüst ajanlardan iki veya daha çok sayıda ajan varsa ve bu ajan arketiplerinin toplam ajan miktarı içindeki sayısı diğer arketiplerin toplam sayısından çok ise kaçakçı veya dürüst ajanlara dönüşmektedir. Eğer bu koşullar geçerli değilse yeni yaratılan ajanlar rastlantısal davranan ajanlar olarak atanmaktadır.

Şekil 2’de komşuluk etkisi ve algılanan denetim oranı anahtarları açıkken örnek modelin ürettiği sonuçlar görünmektedir. Bu sonuçlara göre, 100 vergilendirme dönemi sonunda von Neumann türü komşuluk etkisi nedeniyle mükelleflerin ortalama vergi uyumu %36’dan %18’e gerilemiştir. Ayrıca, stratejik ve rastlantısal davranan mükellef sayısı tamamen azalmış, mükelleflerin çok ağırlıklı bir kısmı vergi kaçakçısı arketipine dönüşmüştür.

Şekil 2. Örnek Modelin Sonuç Arayüzü



Kaynak: İcan ve Arslan (2015a).

Ajan tabanlı modelleme yöntemiyle sağlam sonuçlara varabilmek için herhangi bir modeli bir defa çalıştırmak yeterli değildir. Öyle ki, bir ajan tabanlı modeli farklı parametreler altında yüzlerce (belki de binlerce) defa çalıştırarak üretilen sonuçların ortalamalarını almak ve bunları analiz etmek sağlam ve tutarlı bilimsel sonuçlara varabilmek için gereklidir. Buna ek olarak, özellikle büyük çaplı ajan tabanlı modelleme ve simülasyon uygulamaları için hızlı hesaplama kapasitesine sahip bilgisayarlara ve bilgisayarlardan oluşan ağlara ihtiyaç vardır.

III. EKONOFİZİK VE EKONOFİZİKSEL VERGİ KAÇIRMA ANALİZİ

Bir diğer yeni yöntem olan ekonofizik yöntemine ve bu yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiş vergi kaçırma analizlerine de ayrı ayrı değinmek gerekmektedir.

A. Ekonofizik

Ekonofizik kavramına ilişkin farklı tanımlar söz konusudur. Mantegna ve Stanley (2000)'e göre ekonofizik, "ekonomik sorunlarla ilgilenen fizikçilerin, fiziksel bilimlerden türetilmiş bazı yeni kavramsal yaklaşımları sınamak amacıyla gerçekleştirdikleri faaliyetler" olarak tanımlanmaktadır. Yakovenko (2011)'e göre ekonofizik, "istatistiksel fiziğin yöntemlerini iktisat ve finans problemlerine uygulayan yeni ve disiplinler arası bir araştırma alanıdır". Daha geniş bir tanıma göre ise ekonofizik, "ekonomik olaylardan elde edilen veriyi analiz etmek amacıyla istatistiksel fizik ve karmaşıklıkta fikirleri, yöntemleri ve modelleri kullanan; iktisatçılar, matematikçiler ve fizikçilerin işbirliği ile son dönemde geliştirilmiş bir alandır" (Savoie ve Siman, 2013).

İlk olarak 1995 yılında Hindistan'ın Kolkata kentinde düzenlenen Karmaşık Sistemler Dinamiği kongresinde teorik fizikçi Eugene H. Stanley

tarafından kullanılan “ekonofizik” terimi ile fiziğin farklı alanlardaki uygulamalarını ifade eden astrofizik, jeofizik ve biyofizik gibi terimlere benzer bir terim daha ortaya çıkmış olmaktadır. Ancak şunu vurgulamak gerekir ki ekonofizik gerçekte Newton Yasaları veya kuantum mekaniği gibi fizik yasalarını insanlara uygulayan bir alan değil, daha çok, çok sayıda insandan oluşan karmaşık ekonomik sistemlerin istatistiksel özelliklerini incelemek amacıyla istatistiksel fizikte geliştirilmiş olan matematiksel yöntemleri kullanan bir alandır (Yakovenko, 2011).

Ekonofizik yaklaşımının ilgi alanına giren başlıca konular şunlardır (Aste ve Di Matteo, 2010):

- Ampirik kanıtları kapsayabilen teorik modellerin geliştirilmesi.
- Finansal bir varlığın fiyatındaki değişimleri tanımlayan olasılıksal (stokastik) sürecin istatistiksel tanımlanması.
- Ekonomik sistemlerde ölçeklendirme ve evrenselliğin araştırılması.
- Refah ve gelir dağılımları için modelleme uygulamaları.
- Finansal varlık fiyatlarındaki toplu dalgalanmaları tanımlamak amacıyla ağ teorisi ile istatistiksel fizik araçlarının kullanılması.
- Etkileşimli ajanlara sağlam teorik yaklaşımlar aranması.
- Sosyoekonomik sistemlerde istatistiksel mekanik yaklaşımlarının geliştirilmesi.
- Kısmi bilgi ve belirsizlik altında karmaşık sistem davranışlarını anlamak için yeni araçların keşfedilmesi.

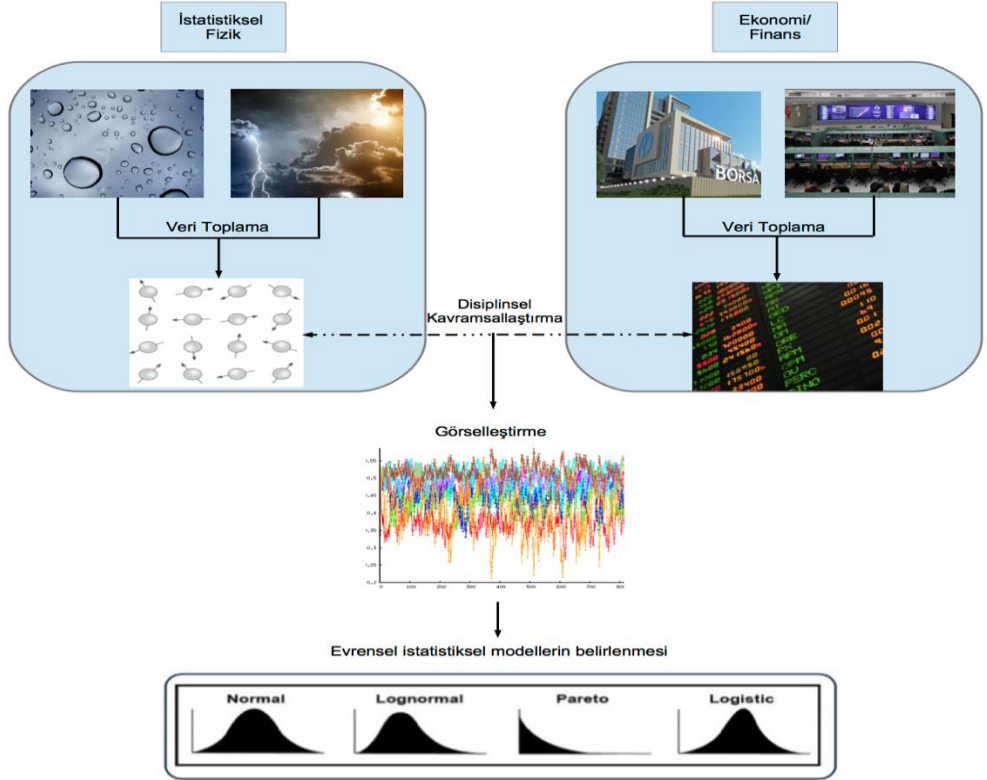
Ekonofiziğin yakından ilişkili olduğu yeni gelişen bir başka alan teorik fizikçi Serge Galam tarafından ekonofizikten çok daha önce ortaya atılan bir kavram olan sosyofiziktir. Sosyofizik, istatistiksel fizikten alınan kavram ve tekniklerin bazı sosyal ve politik davranışları açıklamak amacıyla kullanılması olarak tanımlanmaktadır (Galam, 2012). Her iki yaklaşımın birçok ortak noktası bulunmakla birlikte, sosyofizik sosyal konuları daha geniş bir perspektiften ele alırken, ekonofizik sayısal verinin mevcut olduğu insanların ekonomik davranışları konusuna eğilmektedir. Ekonofizik ve sosyofizik arasında kesin bir sınır bulunmamakta ve her ikisi de birbirine uyum gösteren alanlar olarak varlığını sürdürmektedir (Yakovenko, 2011).

Diğer yandan, ekonofizik kendi içinde “istatistiksel ekonofizik” ve “ajan tabanlı ekonofizik” olarak iki farklı hesaplamalı yaklaşıma ayrılmaktadır. Bu iki yaklaşım da sosyoekonomik sistemleri karmaşık sistemler olarak ele almakta ve *a priori* (önsel) varsayımlardan uzak durarak metodolojilerini ampirik kanıtlara dayandırmaktadır. Ancak, aynı hesaplamalı metodolojiyi kullanmadıkları için bu iki yaklaşım arasında bazı temel farklılıklar bulunmaktadır. Ajan tabanlı ekonofizik heterojen ve öğrenen ajanlara uygulanan mikroskobik modellerle ilgilenirken, istatistiksel ekonofizik modellemede daha çok rastlantısal olarak etkileşim gerçekleştiren ‘sıfır zekaya sahip’ (zero-intelligent) ajanları kullanmaktadır. Ayrıca, ajan tabanlı ekonofizik ekonomik ve finansal sistemlerde gözlemlenen istatistiksel düzenlilikleri türetmeye çabalarken, istatistiksel ekonofizik bu

düzenlilikleri doğrudan ekonomik ve finansal sistemlerin evriminden kaynaklı düzenlilikler olarak tanımlamaya çalışmaktadır (Schinckus, 2013).

İstatistiksel ekonofiziği betimleyen Şekil 3’de görüldüğü gibi, ekonomi/finans ve istatistiksel fizik kendi olgularının disiplinler arası kavramsallaştırmasını gerçekleştirir. Disiplinler ötesi bir süreçte istatistiksel fizikten gelen kavramların ekonomi ve finans alanına uygulanması söz konusudur. Görselleştirme aşaması sonrasında ise evrensel istatistiksel modellerin belirlenmesi gerçekleşmiş olur.

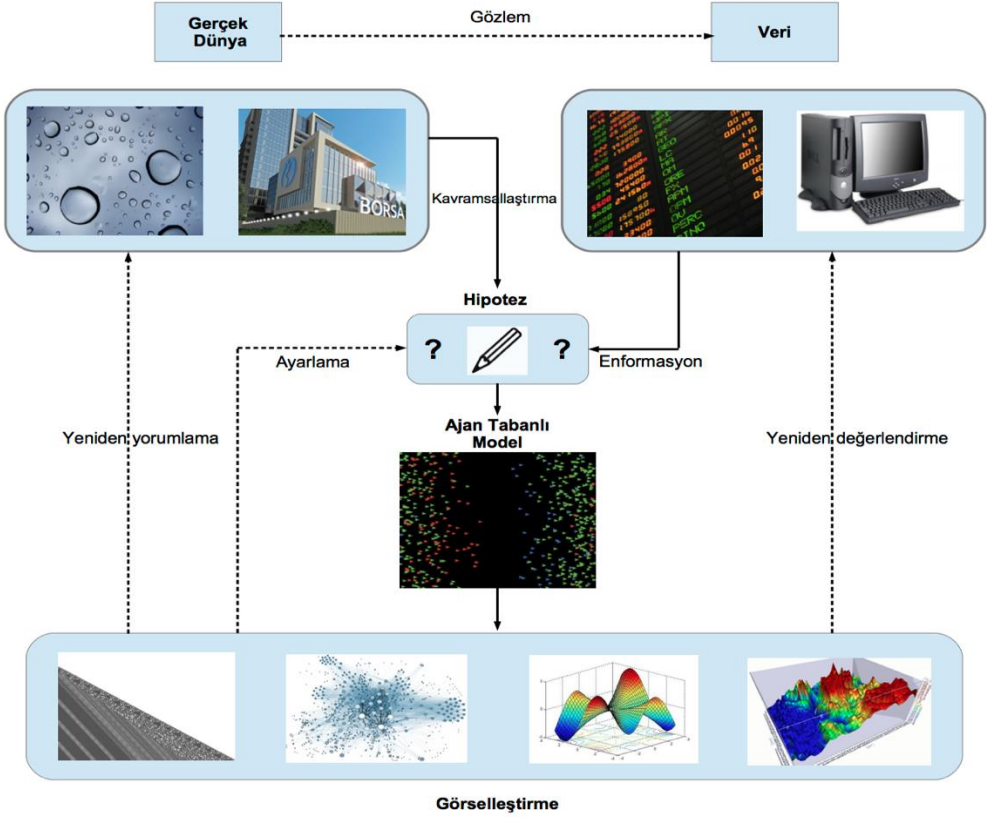
Şekil 3. İstatistiksel Ekonofizik



Kaynak: Schinckus (2013).

Şekil 4’de ajan tabanlı ekonofiziksel modelleme süreci verilmektedir. Ajan tabanlı ekonofiziksel modellemede önce parçacıklar/bireyler arasındaki etkileşim süreci bir model yardımıyla kavramsallaştırılmaktadır. Sonra bu model bilgisayar simülasyonları ile sürekli tekrarlanmakta ve böylece incelenen sürecin temel istatistiksel özellikleri ortaya çıkarılmaktadır. Çok sayıda tekrardan sonra elde edilen sonuçlar bu simülasyonların yeniden üretilebilmesi için hedef sistemde gözlenen ampirik veri ile karşılaştırılmaktadır. Bu deney süreci sistemi karakterize eden makro özelliklerin gösterilmesiyle gerçek dünyaya ilişkin başlangıçta yapılan kavramsallaştırmayı doğrulama olanağı sunmaktadır (Schinckus, 2013).

Şekil 4. Ajan Tabanlı Ekonofiziksel Modelleme

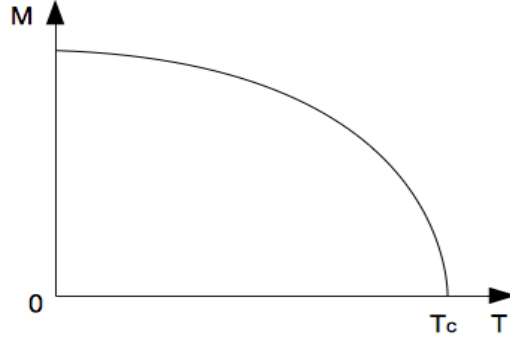


Kaynak: Schinckus (2013).

B. Ekonofiziksel Vergi Kaçırma Analizi: Ising Modeli ve Literatür

Literatürde son yıllarda ekonofiziksel modelleme yardımıyla vergi kaçırma analizi gerçekleştiren birçok çalışma ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaların hemen hepsinde fizikçi Ernst Ising tarafından 1925 yılında geliştirilmiş olan bir matematiksel ferromanyetizma modeli (Ising modeli) kullanılmıştır. Ferromanyetizma demir, nikel gibi bazı katı maddelerin kalıcı mıknatıslanma özelliğine denilmektedir. Ferromanyetizmanın nedeni elektronların 'spin' adı verilen manyetik momentleridir. Katı bir maddedeki tüm atomların manyetik momentleri hep birlikte aynı yönde dizildiğinde makroskobik olarak gözlenebilen bir mıknatıslanma ortaya çıkar. Fakat ortamdaki ısı dalgalanmaları yüzünden sıcaklık arttıkça ferromanyetik düzen bozulma gösterir ve eşik bir değer (T_c , Curie sıcaklığı) sonrasında sıfıra düşer (Karaoğlu, 2015).

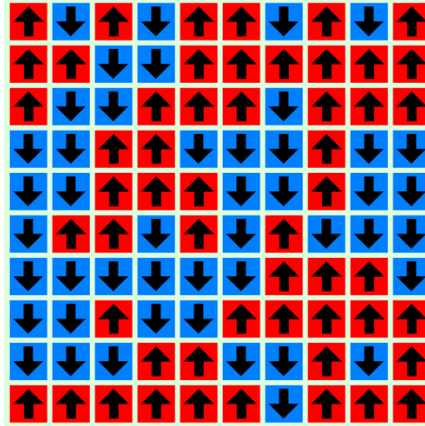
Şekil 5. Ferromanyetizmanın Sıcaklıkla Değişimi



Kaynak: Karaoğlu (2015).

Şekil 6’da görüldüğü gibi, N sayıda spinin manyetik momentinin iki boyutlu bir uzayda bir kare örgü üzerine yerleştirildiğini varsayalım. Bu spinlerin her biri $+z$ (yukarı) veya $-z$ (aşağı) yönde olabilirler. Matematiksel bir ifadeyle, i . spinin değeri ± 1 olacaktır. Bu spinler en genel durumda hem kendi aralarında hem de B dışsal manyetik alanıyla etkileşirler. Vergi kaçırmanın ekonofiziksel modellemesinde spinler vergi mükelleflerinin davranışlarını temsil etmekte ve bir spinin değeri $+1$ ise o spin mükellefin uyumlu olduğunu, -1 ise uyumsuz (kaçakçı) olduğunu göstermektedir.

Şekil 6. İki Boyutlu Ising Modeli



Kaynak: Scramm (2013).

Ising modeli, bu sistemin toplam enerjisinin aşağıda yer alan matematiksel formüldeki gibi ifade edilmesidir.

$$E = -J \sum_{ij} s_i s_j - \mu B \sum_i s_i \quad (3)$$

(en yakın)

Bu modelde (i, j) toplamında her spinin en yakın komşusuyla etkileşimi alınmaktadır. J , bir spinin bir başka spinle etkileşimini belirleyen sabiti; μ , bir

elektronun manyetik momentini ifade etmektedir. İki spin birbirine paralel ise enerjisi daha az olmaktadır. Ayrıca, ortamdaki bir ısı dalgalanması spinlerin paralelliğinin tam olarak oluşmamasına yol açmaktadır.

Ising modeli bireysel unsurların (atomlar, proteinler, hücreler, hayvanlar veya insanlar) davranışlarını komşu bireylerin davranışlarına uydurmaya zorlanmasını açıklayan bir model olarak kimya, biyoloji, ekoloji, ekonomi, sosyoloji gibi alanlarda giderek daha fazla kullanılmakta olan bir modeldir. Bu çerçevede, bu modelin ekonomi alanındaki en yaygın uygulama örneklerinden biri vergi kaçırma/vergi uyumu konusu ile ilgilidir. Vergi kaçırma ya da kaçırma kararlarını komşularının bu konudaki kararlarına dayalı olarak veren, yerel olarak birbirleriyle etkileşim halindeki çok sayıda vergi mükellefinin davranışlarının modellenmesinde Ising modeli epey şaşırtıcı sonuçlar sunmaktadır.

İlk ekonofiziksel vergi analizi çalışmalarından biri olan Lima ve Zaklan (2008)'de standart iki boyutlu Ising modeline göre vergi kaçırma davranışı incelenmiştir. Dışsal bir manyetik alanın varlığında Ising modelinin vergi ahlakının ampirik olarak gözlemlenebilen etkilerini ortaya çıkaracağı varsayılmıştır. Buna göre, dışsal manyetik alan ajanların devlet kurumlarına olan güvenlerini artırmaktadır. Bu çalışmada ayrıca vergisel kurumların uygun zorlama mekanizmaları kullanarak vergi kaçakçılığını azaltabilecekleri sonucuna varılmaktadır.

Zaklan vd. (2008) tarafından iki boyutlu Ising modeli kullanılarak yapılan vergi kaçırma analizinde, hiçbir kontrol önlemi alınmadığında zaman içerisinde vergi kaçırmanın büyük değişiklikler gösterebileceği sonucuna varılmıştır. Voronoi-Delaunay örgüsü ve Barabasi-Albert ağı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada ayrıca çok düşük denetim oranlarının varlığında bile vergi kaçırmanın önemli miktarda azaltıldığı ileri sürülmektedir.

Zaklan vd. (2009)'da Ising modelinden yararlanılarak uygun zorlama mekanizmalarıyla karar alıcıların vergi kaçakçılığını azaltıp azaltamayacakları araştırılmıştır. Bu çalışmada yukarıda değinilen iki çalışmanın sonuçlarına benzer şekilde, bir zorlama mekanizması olarak cezalandırma sisteminin kullanılmasıyla vergi kaçakçılığının etkin bir şekilde kontrol altına alınabileceği sonucuna varılmıştır.

Lima (2010, 2012a, 2012b) tarafından yapılan analizlerde Zaklan vd. (2008, 2009) tarafından geliştirilen model (Zaklan modeli) çoğunluk oylaması modeli ve farklı ağ yapıları eklenerek yinelenmiş ve Zaklan modelinin sağlamlığı (robustness) doğrulanmıştır.

Seibold ve Pickhardt (2013)'de homojen olmayan Ising modeli, farklı türdeki ajanların yerel sıcaklıklar ve manyetik alanlar yardımıyla parametre olarak kullanıldığı vergi kaçırma dinamikleri bağlamında ele alınmıştır. Bu çerçevede, zamanaşımı etkilerinin (geriye dönük denetim vb.) ve içsel olarak belirlenen ceza oranlarının vergi uyumuna etkisi incelenmiştir. Çalışma, geriye dönük denetim sayısına göre vergi uyumunun önemli ölçüde artırılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Diğer bir deyişle, uzun zamanaşımı sürelerinin uygulanması vergi kaçırma düzeyini etkin bir şekilde düşürecektir.

Hokamp ve Seibold (2014)'de kullanılan ajan tabanlı ekonofizik yaklaşımına göre, vergileme ile kamu malı sunumu arasında bir ilişki kurulması halinde ajanların ahlaki tutumları olumlu yönde değişmekte ve böylece vergi kaçırmanın toplam mükellefler içindeki oranı azalmaktadır.

Pickhardt ve Seibold (2014) bir ekonofiziksel gelir vergisi kaçırma modeli geliştirerek farklı zorlama yöntemlerinin kullanıldığı senaryolarda vergi kaçırma dinamiklerini incelemiştir. Bu modele göre, vergi kaçırma parasal olmayan cezalara başvurulması ve ajanlar arası etkileşimin neden olduğu taklit davranışları vergi kaçırma para cezası uygulanması yönündeki standart yaklaşıma önemli bir seçenek oluşturmaktadır.

Crokidakis (2014) Zaklan modelini kullanarak tamamen birbirleriyle ilişki halindeki bir mükellef grubunda vergi kaçırma sorununu ele almıştır. Bu çerçevede dürüst, kaçakçı ve kararsız olmak üzere üç tür vergi mükellefi tanımlanarak bu mükelleflerin dinamikleri veri T sıcaklığındaki iki boyutlu Ising modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Bu modelin sonucuna göre, kritik bir sıcaklığın altında vergi uyumu yüksek çıkmakta ve ceza önlemleri ajanlar üzerinde çok küçük bir etkiye sahip olmaktadır. Öte yandan, kritik sıcaklığın aşılması durumunda ise vergi kaçırma davranışı zorlama önlemleri ile önemli miktarda azaltılabilmektedir.

Son olarak Bazart vd. (2016), Pickhardt ve Seibold (2014)'de kullanılan ekonofiziksel vergi kaçırma modelini deneysel vergi uyum verisinden hareketle kalibre ederek ekonofizikteki fiziksel niceliklerin ekonomik olarak yorumlanmasına katkıda bulunmuştur. Bazart vd. (2016)'ya göre, örneğin, ekonofizikteki manyetik alanlar ajanların ahlaki tutumlarını yansıtmakta ve yerel sıcaklık ajanların dışsal huzursuzluklara karşı hassasiyetini ölçmektedir.

C. Ekonofiziksel Vergi Kaçırma Analizi: Örnek bir Model

Ekonofiziksel vergi kaçırma analizinde örnek model olarak Pickhardt ve Seibold (2014) tarafından geliştirilmiş olan model (Pickhardt ve Seibold modeli) ana hatlarıyla incelenecektir. Standart iki boyutlu Ising modeline dayalı olarak geliştirilen bu model Zaklan modelinin heterojen ajan özellikleri eklenerek genişletilmiş bir versiyonudur. Bu model hem farklı zorlama senaryolarının analizi hem de Hokamp ve Pickhardt (2010)'da yer alan ajan tabanlı vergi analizi sonuçlarının tekrarlanması için kullanılmıştır. Modelin bilgisayar kodları Fortran dilinde yazılmış olup, bu kodlar bu çalışma için tarafımızca yeniden çalıştırılmıştır.

Pickhardt ve Seibold modelinde 10.000 vergi mükellefinden oluşan bir ajan nüfusu oluşturulmuş ve a , b , c ve d olmak üzere dört farklı ajan tipi belirlenmiştir. Bu ajan tiplerinden a tipi uyumsuzluk gösteren bencil ajanları, b tipi sosyal çevrelerinin veya komşularının davranışlarını kopyalayan kopyacı ajanları, c tipi uyum gösteren etik ajanları ve d tipi tesadüflere dayalı olarak davranan rastlantısal ajanları göstermektedir. Bu modelde a ve c tipi ajanlara dayalı olan Zaklan modeline b ve d tipi ajanların eklenmesiyle ajan nüfusu heterojen hale getirilmiştir.

Tablo 2. Pickhardt ve Seibold Modelinin Parametre Değerleri

Parametre	Değer
Denetim olasılığı (p_a) aralığı	0 - 1
Uyum aralığı	4
Dönem sayısı	50
a tipi ajanların oranı	0,3
b tipi ajanların oranı	0,35
c tipi ajanların oranı	0,2
d tipi ajanların oranı	0,15
Sıcaklık (a ve c için) (T_{ac})	5
b tipi için min. ve max. sıcaklık (T_b)	1 - 3
d tipi için min. ve max. sıcaklık (T_d)	10 - 30
a tipi için min. ve max. manyetik alan (B_a)	-20 , -10
c tipi için min. ve max. manyetik alan (B_c)	10 - 20

Kaynak: Pickhardt ve Seibold (2014).

Heterojen ajan nüfusunun vergi kaçırma dinamikleri incelendiğinde Tablo 3’de gösterilen sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre, *a* tipi ajanlar komşularından bağımsız olarak yüksek düzeyde uyumsuzluk gösterme eğilimindedir. *b* tipi ajanlar ise komşularının davranışlarını taklit etmektedir. *c* tipi ajanlar komşularından bağımsız olarak yüksek düzeyde uyum gösterme olasılığı taşımaktadır. *d* tipi ajanların spin olasılıkları %50 civarında gerçekleşmekte olup, bu ajanlar komşularının davranışlarına ve kendi bireysel davranış kalıplarına zayıf bir şekilde bağlılık göstermektedir (Pickhardt ve Seibold, 2014).

Tablo 3. Ajan Tiplerinin Komşularının Durumuna Göre Vergi Kaçırma Düzeyleri

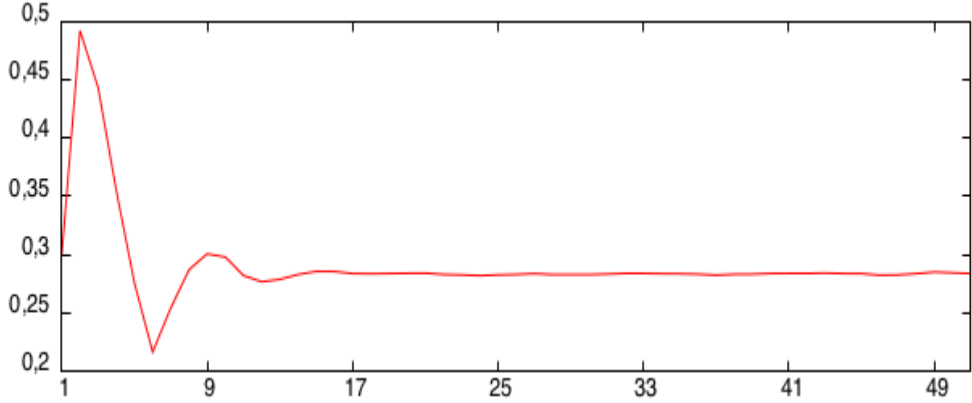
$\Sigma_i S_j$	a tipi		b tipi		c tipi		d tipi	
	S = - 1	S = + 1	S = - 1	S = + 1	S = - 1	S = + 1	S = - 1	S = + 1
-4	99,6/100	0/0,4	69/93,5	6,5/31	0,2/8,3	91,7/99,8	56,6/69	31/43,4
-2	99,2/100	0/0,8	59,9/79,1	20,9/40,1	0,1/3,9	96,1/99,9	53,3/59,9	40,1/46,7
0	98,2/100	0/1,8	50/50	50/50	0/1,8	98,2/100	50/50	50/50
2	96,1/99,9	0,1/3,9	20,9/40,1	59,9/79,1	0/0,8	99,2/100	40,1/46,7	53,3/59,9
4	91,7/99,8	0,2/8,3	6,5/31	69/93,5	0/0,4	99,6/100	31/43,4	56,6/69

Kaynak: Pickhardt ve Seibold (2014).

Pickhardt ve Seibold modelinin sonucuna göre, denetim olasılığı (p_a) %20 iken bütün ajan nüfusunun 50 dönem boyunca ortalama vergi kaçırma düzeyleri aşağıdaki gibidir. Bu sonuca göre, ajanların vergi kaçırma düzeyi

simülasyonun ilk döneminde hızla artarak %35’den %49,2 düzeyine çıkmış, beşinci döneme kadar hızla düşerek % 21,6 ile en düşük değeri almıştır. Sonra yeniden yükselişe geçerek sekizinci dönemde %30’a ulaşan vergi kaçırma düzeyi 13. dönemden 50. döneme kadar %28’in bir miktar üzerinde değerler olarak istikrarlı bir seyir izlemiştir.

Şekil 7. Pickhardt ve Seibold Modelinde Ortalama Vergi Kaçırma Düzeyinin Gelişimi



Kaynak: Yazarın ilgili modeli kendi çalıştırması sonunda ortaya çıkan sonuçlar

Pickhardt ve Seibold modelinin en dikkat çekici sonuçlarından biri de ortalama vergi kaçırma düzeyini minimum yapan değer olan optimal denetim olasılığına ilişkindir. Bu modele göre, bir vergi sistemi için optimal denetim olasılığı %20 ile %23 arasındadır ($0,2 \leq p_a \leq 0,23$). Bu sonuca göre, birçok ülkede gerçekleşen vergi denetim oranlarının optimal denetim olasılığının altında olduğu görülmektedir. Pickhardt ve Seibold modelinin bu sonucu, çok düşük denetim olasılığının bile uzun dönemde vergi uyumuna neden olacağını ileri süren Zaklan modelinin sonucundan farklıdır. Ayrıca, Ising modelinde belirli bir eşik değerin üzerine çıkması halinde parçacıkların komşularından bağımsız olarak davranmasına yol açan sıcaklık değişkeni, Pickhardt ve Seibold tarafından küresel (dışsal) etki olarak yeniden yorumlanmıştır. Bu çerçevede, küresel etki belirli bir düzeyi aştıktan sonra mükelleflerin uyumsuz davranmasına yol açmaktadır (Pickhardt ve Seibold, 2014).

Genel olarak Pickhardt ve Seibold modelinin sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- Etkin denetim oranı için bir eşik değer söz konusudur.
- Gerçek dünyadaki denetim oranları vergi kaçırma ile mücadele için çok düşük olabilmektedir.
- Bir toplumda davranışsal olarak heterojen olan ajan tiplerinin dağılımı denetimin etkinliği için önemlidir.
- Doğrudan ajan etkileşimi parasal ceza uygulamasının etkin bir alternatifi olabilir.

SONUÇ

Mükelleflerin vergi kaçırma davranışı eski çağlardan beri karşılaşılan bir sorundur. Ancak bu sorunun sistematik olarak ele alınması ve bilimsel anlamda analizi ekonomi literatüründe 1970’li yıllardan bu yana önem kazanmıştır. Bunun başlıca nedenleri arasında kamu harcamalarının finansmanında en önemli gelir kaynağı olan vergi gelirlerindeki azalmanın önüne geçilmesi ve vergi adaletini sağlama çabaları gelmektedir. Genellikle neo-klasik Allingham ve Sandmo modelinin kullanıldığı vergi kaçırma analizinde son dönemde yeni yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni yaklaşımlardan en önemlileri ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik yaklaşımlardır.

Ajan tabanlı modelleme ‘bir araştırmacıya, *bir ortamda* etkileşim halinde bulunan *ajanlardan* oluşan modeller aracılığıyla *yaratma, analiz etme ve deney yapma* olanağı veren *hesaplamalı bir yöntem*’ olarak tanımlanmaktadır. Bu modelleme yöntemi bir sistemin davranışında dengeyi esas alan, ajanların doğrudan temsil edilmediği ve karmaşıklık olgusunun dikkate alınmadığı standart modelleme ve analiz yöntemlerinden oldukça farklıdır. Son yıllarda ajan tabanlı modelleme kullanılarak vergi kaçırma ve vergi uyumu davranışlarının analiz edildiği birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda heterojen, birbiriyle etkileşim halinde, sınırlı rasyonelliğe sahip, öğrenen ajanların (vergi mükelleflerinin) denge dışı ve doğrusal olmayan bir sistem içerisinde vergi kaçırma davranışları analiz edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda genel olarak ajan tabanlı modelleme yardımıyla yapılan sosyal simülasyonların, mükelleflerin vergi kaçırma ve vergi uyumu kararlarının karmaşık yapısını açıklamada oldukça uygun ve gerçekçi bir yöntem olduğu görülmektedir.

Ekonofizik ise ‘istatistiksel fiziğin yöntemlerini iktisat ve finans problemlerine uygulayan yeni ve disiplinler arası bir araştırma alanı’ olarak tanımlanmaktadır. Ekonofizik kendi içinde “istatistiksel ekonofizik” ve “ajan tabanlı ekonofizik” olarak iki farklı hesaplamalı yaklaşıma ayrılmaktadır. Ajan tabanlı ekonofizik heterojen ve öğrenen ajanlara uygulanan mikroskobik modellerle ilgiliyken, istatistiksel ekonofizik daha çok rastlantısal olarak etkileşim gerçekleştiren ‘sıfır zekaya sahip’ ajanların kullanıldığı modellerle ilgilidir. Fizik ve ekonomide son yıllarda ekonofiziksel modelleme yardımıyla vergi kaçırma analizi gerçekleştiren birçok çalışma ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarda fizikçi Ernst Ising tarafından 1925 yılında geliştirilmiş bir matematiksel ferromanyetizma modeli olan Ising modeli kullanılmıştır. Vergi kaçırma ya da kaçırılmama kararlarını komşularının bu konudaki kararlarını temel alarak veren, yerel olarak birbirleriyle etkileşim halindeki çok sayıda vergi mükellefinin davranışlarının modellenmesinde Ising modeli ilginç sonuçlar sunmaktadır. Ising modelini kullanan çalışmaların sonuçlarına göre bir toplumdaki vergi kaçırma düzeyi, sistemdeki ağ yapıları, ajanlar arası etkileşim, zorlama mekanizmasının gücü, toplumun ahlaki tutum değişiklikleri, dışsal etkiler gibi faktörler tarafından belirlenmektedir.

Ajan tabanlı modelleme ve ekonofizik yaklaşımları makroekonomi ve finans konularında olduğu gibi vergileme konusunda da standart yaklaşımlardan

daha gerçekçi ve daha zengin sonuçlar ortaya koymaktadır. Her iki yaklaşım da otonom ve sınırlı rasyonel bireyler olarak mükelleflerin davranışlarını, kendi aralarındaki farklılıkları ve etkileşimleri dikkate alarak denge dışı ve doğrusal olmayan bir sistemde, gerçek dünyaya uygun olarak analiz etmeye çalışmaktadır. Daha genel bir perspektiften ele alındığında, her iki yaklaşımın yalnızca ekonomi bilimi için değil, sosyal bilimlerin tümü için yeni olanaklar sunduğu açıktır.

Teşekkür

Bu çalışmada ekonofiziksel örnek model olarak incelenen modelin Fortran bilgisayar dilinde yazılmış kodlarını paylaşma inceliğini göstererek bu modelin yeniden çalıştırılmasına olanak veren Prof. Dr. Götz Seibold'a içtenlikle teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKÇA

- Allingham, M. G. ve Sandmo, A. (1972). "Income Tax Evasion: A Theoretical Analysis", *Journal of Public Economics*, 1 (3-4), ss. 323-338.
- Alm, J. ve Jacobson, S. (2007). "Using Laboratory Experiments in Public Economics", *National Tax Journal*, 60 (1), ss. 129-152.
- Alm, J. (2012). "Measuring, Explaining, and Controlling Tax Evasion: Lessons from Theory, Experiments, and Field Studies", *International Tax and Public Finance*, 19 (1), ss. 54-77.
- Andrei, A., Comer, K. ve Koehler, M. (2011). "An Agent-Based Model of Network Effects on Tax Compliance and Evasion", The MITRE Corporation Technical Paper, http://www.mitre.org/work/tech_papers/2011/11_5372/11_5372.pdf, (10.10.2012).
- Antunes, L., Balsa, J., Urbano, P., Moniz, L. ve Roseta-Palma, C. (2006). "Tax Compliance in a Simulated Heterogeneous Multi-Agent Society", *Multi-Agent-Based Simulation VI* içinde. Sichman, J. S. ve Antunes, L. (eds). Heidelberg: Springer. ss. 147-161.
- Antunes, L., Balsa, J., Respicio, A. ve Coelho, H. (2007a). "Tactical Exploration of Tax Compliance Decisions in Multi-agent Based Simulation", *Multi-Agent-Based Simulation VII* içinde. Antunes, L. ve Takadama, K. (eds). Heidelberg: Springer. ss. 80-95.
- Antunes, L., Balsa, J. ve Coelho, H. (2007b). "Tax Compliance Through MABS: The Case of Indirect Taxes", *Progress in Artificial Intelligence* içinde. Neves, J. M., Santos, M. F. ve Machado, J. M. (eds). Heidelberg: Springer. ss. 605-617.
- Arslan, M. O. ve İcan, Ö. (2013a). "An Agent-Based Analysis of Tax Compliance for Turkey", *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13 (2), ss. 143-152.
- Arslan, M. O. ve İcan, Ö. (2013b). "The Effects of Neighborhood on Tax Compliance Rates: Evidence from an Agent-Based Model", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22 (1), ss. 337-350.
- Aste, T. ve Di Matteo, T. (2010). "Introduction to Complex and Econophysics Systems: A Navigation Map", *Complex Physical, Biophysical and Econophysical Systems* içinde, Dewar, R. L. ve Detering, F. (eds). New Jersey: World Scientific. ss. 1-35.
- Bazart, C., Bonein, A., Hokamp, S. ve Seibold, G. (2016). "Behavioural Economics and Tax Evasion: Calibrating an Agent-based Econophysics Model with Experimental Tax Compliance Data", *Journal of Tax Administration*, 2 (1), ss. 126-144.
- Bloomquist, K. (2011). "Tax Compliance as an Evolutionary Coordination Game: An Agent-Based Approach", *Public Finance Review*, 39 (1), ss. 25-49.
- Bloomquist, K. M. ve Koehler, M. (2015). "A Large-scale Agent-based Model of Tax Reporting Compliance", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 18 (2). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/2/20.html>, (7.9.2015).
- Borrill, P. B. ve Tesfatsion, L. (2011). "Agent-based Modeling: The Right Mathematics for the Social Sciences?", *The Elgar Companion to Recent Economic Methodology* içinde. Davis, J. B. ve Hands, D. W. (eds). Cheltenham: Edward Elgar. ss. 228-258.
- Complexity Explorer. Glossary. <http://www.complexityexplorer.org/explore/glossary>, (10.8.2014).

- Crokidakis, N. (2014). "A Three-state Kinetic Agent-based Model to Analyze Tax Evasion Dynamics", *Physica A*, 414, ss. 321-328.
- David, N. (2013). "Validating Simulations". *Simulating Social Complexity: A Handbook* içinde, Edmonds, B. ve Meyer, R. (eds). Heidelberg: Springer. ss. 135-171.
- Davis, J. S., Hecht, G. ve Perkins, J. D. (2003). "Social Behaviors, Enforcement and Tax Compliance Dynamics", *Accounting Review*, 78 (1), ss. 39-69.
- Epstein, J. M. (2006). *Generative Social Science*. New Jersey: Princeton University Press.
- Galam, S. (2012). *Sociophysics: A Physicist's Modeling of Psycho-political Phenomena*, Heidelberg: Springer.
- Garrido, N. ve Mittone, L. (2013). "An Agent Based Model for Studying Optimal Tax Collection Policy Using Experimental Data: The Cases of Chile and Italy", *The Journal of Socio-Economics*, 42, ss. 24-30.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models*. Los Angeles: Sage.
- Gilbert, N. ve Troitzsch, K. G. (2004). *Simulation for the Social Sciences*. Second Ed., New York: Open University Press.
- Hokamp, S. ve Pickhardt, M. (2010). "Income Tax Evasion in a Society of Heterogeneous Agents - Evidence from an Agent-based Model", *International Economic Journal*, 24 (4), ss. 541-553.
- Hokamp, S. ve Seibold, G. (2014). "Tax Compliance and Public Goods Provision: An Agent-based Econophysics Approach", *Central European Journal of Economic Modelling and Econometrics*, 6 (4), ss. 217-236.
- İcan, Ö. ve Arslan, M. O. (2015). Tax evasion: Turkish case modeli. NetLogo Modeling Commons. http://www.modelingcommons.org/browse/one_model/4322, (3.4.2016).
- Karaoğlu, B. (2015). *Fortran ve Python ile Sayısal Fizik*. 2. Baskı. Ankara: Seçkin.
- Korobow, A., Johnson, C. ve Axtell, R. (2007). "An Agent-Based Model of Tax Compliance with Social Networks", *National Tax Journal*, 60 (3), ss. 589-610.
- Lima, F. W. S. ve Zaklan, G. (2008). "A Multi-agent-based Approach to Tax Morale", *International Journal of Modern Physics C: Computational Physics & Physical Computation*, 19 (12), ss. 1797-1808.
- Lima, F. W. S. (2010). "Analysing and Controlling the Tax Evasion Dynamics via Majority-Vote Model", *Journal of Physics: Conference Series*, 246, ss. 1-12.
- Lima, F. W. S. (2012a). "Tax Evasion Dynamics and Zaklan Model on Opinion-dependent Network", *International Journal of Modern Physics C: Computational Physics and Physical Computation*, 23 (6), ss. 1250047-11.
- Lima, F. W. S. (2012b). "Tax Evasion and Nonequilibrium Model on Apollonian Networks", *International Journal of Modern Physics C: Computational Physics and Physical Computation*, 23 (11), ss. 1250079-8.
- Llacer, T., Miguel, F. J., Noguera, J. A. ve Tapia, E. (2013). "An Agent-Based Model of Tax Compliance: An Application to the Spanish Case", *Advances in Complex Systems*, 16 (4-5), ss. 1350007-33.
- Mantegna, R. N. ve Stanley, H. E. (2000). *An Introduction to Econophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mittone, L. ve Patelli, P. (2000). "Imitative Behaviour in Tax Evasion", *Economic Simulation in a Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming* içinde, Luna, F. ve Stefansson, B. (eds). Amsterdam: Kluwer. ss. 133-158.
- Noguera, J. A., Llacer, T., Miguel, F. J. ve Tapia, E. (2014). "Tax Compliance, Rational Choice, and Social Influence: An Agent-based Model", *Revue Française de Sociologie*, 55 (4), ss. 765-804.
- Nordblom, K. ve Zamac, J. (2012). "Endogenous Norm Formation over the Life Cycle: The Case of Tax Morale", *Economic Analysis and Policy*, 42 (2), ss. 153-170.
- Pickhardt, M. ve Seibold, G. (2014). "Income Tax Evasion Dynamics: Evidence from an Agent-based Econophysics Model", *Journal of Economic Psychology*, 40, ss. 147-160.
- Saruç, N. T. (2015). *Vergi Uyumu: Teori ve Uygulama*, Ankara: Seçkin.

- Savoieu, G. ve Siman, I. I. (2013). "History and Role of Econophysics in Scientific Research", *Econophysics: Background and Applications in Economics, Finance, and Sociophysics* içinde, Savoieu, G. (ed.). Amsterdam: Elsevier. ss. 3-16.
- Schelling, T. C. (1971). "Dynamic Models of Segregation", *Journal of Mathematical Sociology*, 1 (2), ss. 143-186.
- Schinckus, C. (2013). "Introduction to Econophysics: Towards a New Step in the Evolution of Physical Sciences", *Contemporary Physics*, 54 (1), ss. 17-32.
- Schramm, S. (2013). Physics 2 Go Part 2 (Ising Model), Android market.
- Seibold, G. ve Pickhardt, M. (2013). "Lapse of Time Effects on Tax Evasion in an Agent-based Econophysics Model", *Physica A*, 392, ss. 2079-2087.
- Smith, S. (2015). *Taxation: A Very Short Introduction*. Hampshire: Oxford University Press.
- Wilensky, U. ve Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- Yakovenko, V. M. (2011). "Econophysics, Statistical Mechanics Approach to", *Complex Systems in Finance and Econometrics* içinde, Meyers, R. A. (ed.). Heidelberg: Springer. ss. 247-272.
- Zaklan, G., Lima, F. W. S. ve Westerhoff, F. (2008). "Controlling Tax Evasion Fluctuations", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387 (23), ss. 5857-5861.
- Zaklan, G., Westerhoff, F. ve Stauffer, D. (2009). "Analysing Tax Evasion Dynamics via the Ising Model", *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 4, ss. 1-14.

SUMMARY

The tax evasion behavior of taxpayers has always been a problem since ancient times. However, a systematic and scientific analysis of this problem has appeared and gained importance in economics literature since the 1970s. The main reasons for this development are (1) the efforts to prevent the decrease in tax revenues, which are the most important source of income in financing public expenditures, and (2) providing tax justice in society. In recent years, new approaches such as agent-based modeling and econophysics as computational methods are used in the analysis of taxpayers' evasion behavior in addition to traditional statistical and econometric methods.

Wilensky (2015) defines agent-based modeling as "a form of computational modeling whereby a phenomenon is modeled in terms of agents and their interactions". In recent years, a number of studies have been carried out using agent-based modeling to analyze tax evasion and tax compliance behavior of taxpayers. In these studies, tax evasion behaviors of heterogeneous, interrelated, bounded rational learning agents (taxpayers) were analyzed in a non-equilibrium and nonlinear system. The results of these studies in general indicate that agent-based modeling is a reasonable and realistic method for explaining the complicated structure of taxpayers' tax evasion and tax compliance decisions.

The second approach which is analyzed here in regard to tax evasion dynamics of taxpayers is econophysics. Complexity Explorer website defines it as "the use of methods and tools from physics, such as those used statistical physics, critical phenomena, nonlinear dynamics, and stochastic processes, to approach problems in economics". In recent years, many studies have been done in physics and economics to analyze tax evasion behavior of taxpayers using econophysics approach. The Ising model, a mathematical ferromagnetism model which was

developed in 1925 by physicist Ernst Ising, are used in these studies. The Ising model presents interesting results in modeling the behavior of taxpayers who are interacting locally and giving tax evasion decisions based on the decisions of their neighbors. According to the results of the studies which employing the Ising model, the level of tax evasion in a society is determined by some factors such as network structures in the system, interaction between agents, strength of coercion mechanism, changes in moral attitude of the society, external influences.

The exemplar agent-based and econophysics models that are employed in this study show that those two approaches might be evaluated as appropriate and realistic approaches in explaining complex nature of tax evasion behavior of taxpayers. Both approaches try to analyze behaviors of taxpayers as autonomous, bounded rational and heterogeneous individuals regarding the interactions among those individuals in a non-linear system. In this regard, it is clear that both methods provide new opportunities not only for tax evasion analysis in economics science but also for all branches of social sciences.