

**COMPUTATIONAL ECONOMICS: A PERSPECTIVE  
FROM COMPUTATIONAL INTELLIGENCE\***

**İŞLEMSEL ZEKA BAKIŞ AÇISIYLA SAYISAL EKONOMİ**

Editörler : Shu-Heng Chen, Lakhmi Jain, Chung-Ching Tai

Basım : Idea Group Publishing, 2006, 318 sayfa

ISBN : 1-59140-651-1

Yeni bir kavram olarak ortaya çıkan sayısal ekonomi (computational economics), sayısal yöntemlerle ekonominin kesişiminin keşfi olarak tanımlansa da, bu tanım sayısal ekonomiyi açıklamada oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle öncelikle sayısal (computational) kavramının açıklanması gerekmektedir. Sayısal kavramı, sadece matematiksel ve istatistiksel yöntemleri değil, aynı zamanda bilgisayar teknolojilerini de içine alan optimumu arama ve model geliştirme yöntemlerini ve algoritmalarını da kapsamaktadır. Sayısal ekonomiyi yeni bakış açısı ile incelemeye önce geleneksel sayısal ekonomiye vurgu yapmakta yarar olabilir. Geleneksel sayısal ekonomide sayısal yöntemler, önceden geliştirilmiş teorilerin doğrulanması, geliştirilmesi ve/veya derlenmesi için kullanılmaktadır. Bu şekliyle, bilgisayar yazılımlarını ve donanımlarını içeren sayısal yöntemler, ekonomik modellerin geliştirilmesinde yardımcı bir unsur olarak görülmektedir.

Herbert Simon'un fikirlerinin ekonomiye etkisi ile gelişen sayısal ekonomide, ekonomik modellerin inşa edilmesi ve çözümü, bilgisayar yazılımlarını da içeren sayısal süreci kapsamaktadır. Burada sayısal yöntemlerin kullanımı, sadece ortaya konulan modellerin çözümü veya optimum değerinin bulunması için değil, aynı zamanda problemin tanımlanması ve modellenmesi içindir. Sayısal yöntemler bu şekliyle, ekonomik modellere yardımcı olmaktan ziyade modellemenin içerisinde yer almaktadır. Bu sebeple incelenen kitap geleneksel sayısal yöntemlerden ayrılması adına, işlemsel zeka bakış açısıyla sayısal ekonomi olarak adlandırılmıştır.

---

\* İnceleyen M. Koray ÇETİN, Akdeniz Üniversitesi İİBF

Herbert Simon, ekonomi, bilgisayar bilimleri ve bilişsel psikoloji şeklindeki disiplinler arası geleneksel ayrımı kırarak disiplinler arası bir araştırma alanı ortaya koymuştur. Simon, bu fikri ileri sürdüğünde bilgisayar bilimi ve bilişsel psikolojinin sayısal ekonomi içerisinde hiçbir rolü yok iken artık günümüzde reddedilemez bir parçası olmuştur. Özellikle ajan temelli (agent-based)<sup>1</sup> sayısal ekonomi çalışmalarında, deneysel ekonomi, davranışsal finans ve birbirleri ile etkileşimde bulunan heterojen ajanlardan oluşan ekonomi alanlarındaki çalışmalar birleşmiştir.

İşlemsel zeka (computational intelligence), doğada gözlemlenebilir akıllı davranışlardan – dilbilimsel davranışlar, biyoloji, böcekler, sinir sistemi bilimleri, ve biyolojik savunma sistemi gibi- esinlenerek bunların modellemede kullanımı olarak açıklanabilir. İşlemsel zeka, klasik yapay zekadan (artificial intelligence) temelde matematiksel mantık üzerine kurulması bakımından, ayrıca olasılık ve istatistik üzerine dayanan geleneksel öğrenen modellerden (learning models) ayrılmaktadır. Buna karşın, doğada gözlemlenen akıllı davranışların modellenmesi süreci yoğun sayısalılık içermektedir çünkü, doğadaki davranışların modellenmesi çalışması klasik sistemler kadar basit değildir. Sonuç olarak beklenen, gözlemlenen davranışların başarılı modellenmesi ile karmaşık uyumlaştırıcı (complex adaptive) bir sistem olan ekonomik sistemlerin işleyişini daha iyi anlamaktır.

Bu kitapta, 26-30 Eylül 2003 tarihlerinde gerçekleştirilen *Ekonomi ve Finanstta İşlemsel Zeka Üzerine Üçüncü Çalıştay*'da (Third Workshop on Computational Intelligence in Economics and Finance – CIEF'2003) yer alan seçilmiş 15 çalışmaya yer verilmiştir. Kitapta yer alan makaleler, işlemsel zeka yöntemlerinin ekonomi ve finans alanındaki yeni uygulamaları üzerine yoğunlaşmıştır. İşlemsel zeka yöntemleri arasında sayılan, birçok kitapta yer alan bulanık mantık, yapay sinir ağları ve evrimsel algoritmalar bu kitapta ekonomiye ve finansla uygulamaları ile yer almıştır. Buna karşın, bir çok disiplinler arası çalışmada olduğu gibi çalışmalarını belirgin ayrımlara tabi tutmanın mümkün olmadığını da belirtmek gerekir.

---

<sup>1</sup> “Agent based” kavramı iktisat yazınında “vekil temelli”, bilişim teknolojileri yazınında ise “etmen temelli” olarak çevrilmiştir. Bu çalışmada “agent” teriminin, vekalet eden anlamından daha farklı bir anlam içerdiği ve daha ziyade ekonomik ve finans sistemlerinin bir oyuncusunu ifade ettiği görüşü benimsenerek “ajan” terimi tercih edilmiştir.

İşlemsel zekanın kitapta yer alan diğer uygulama boyutu, ajan temelli sayısal modellerin ekonomi ve finanstaki uygulamalarında yer alan özerk ajanların modellenmesine yöneliktir. Ekonomik ve finansal sistemlerin, birbirlerinden bağımsız farklı beklenti ve bilgi seviyesine sahip ajanlardan oluştuğu görüşü ile birlikte, bu sistemlerin işleyişinin ajan temelli modellerle araştırılması yeni ve ilgi çeken bir konudur. Bu konuda yapılan çalışmalar, birçok tekniği tek tek ya da karma şekilde kullanmaktadır. İlgili çalışmalarda işlemsel zeka yöntemlerinden bulanık mantığın; yapay sinir ağları ve evrimsel algoritmalarından ise özellikle genetik algoritmaların yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Bir örgüt, bir piyasa veya bir ekonomi sisteminin yapısını belirlemek için kullanılabilen ajan temelli modellerden, bu kitaptaki çalışmalarda da birçok boyutta yararlanılmıştır. Ajan\_\_temelli modellerde ekonomik bireyler veya bir örgütün üyeleri, işlemsel zeka algoritmalarıyla veya bilgisayar programları şifrelemeleri yoluyla heterojen yapıda oluşturulabilir. Bu tür modellemenin arkasında yatan düşünce, bireylerin düşünce sistematığının karmaşık uyumlaştırıcı sistemler olduğu görüşüdür. Bu sistemlerde bireyler, birbirleri ile etkileşim içerisindedir ve doğrusal olmayan yöntemlerle genellemelere giderek kendi karar sistemlerini oluştururlar. Bireyler içinde buldukları, sürekli bir değişim içinde olan çevreye bağlı olarak, daha karmaşık karar sistemleri üretmek ve güncellemek zorundadırlar. Ajan temelli modeller ile ajan davranışlarının ortaya çıkardığı sistemler oluşturulmaya ve yapısı elde edilmeye çalışılmakta; bunun için bilgisayar teknolojilerini de içine alan sayısal yöntemler kullanılmaktadır.

Kitapta yer alan çalışmalar 6 bölüm altında toplanmıştır. Bu başlıklar, yatırım ve tahminde finansal modelleme, piyasa yapıcılığı (market making) ve piyasaların ajan temelli modellemesi, oyun teorisi, maliyet tahmini (cost estimation) ve karar-destek sistemleri, politika belirleme, örgüt teorisi ve örgüt birleşmeleri şeklinde isimlendirilmiştir. Bu çalışma, basım evinin işlemsel zeka ve uygulamaları (Computational Intelligence and its Applications) konulu serisinde yer alan bir kitaptır.

Birinci bölümdeki çalışmalar, yatırım ve tahminde finansal modelleme başlığı altında toplanmıştır ve finansal yönelimlerin keşfini, finansal zaman serisi tahminlerini, opsiyon fiyatlamasını, portföy seçimini vb gibi konuları içeren finansal kararlarla ilgili yeni işlemsel

zeka uygulamalarına yer verilmiştir. Bu bölümde yer alan çalışmalardan ilkinde, yatırımcıların işlem kararlarının karlılığı ile yatırımcıların riske karşı tutumları arasındaki ilişki yapay sinir ağları yöntemi ile incelenmiştir. Yine bu bölümde yer alan ikinci çalışmada, finansal varlık fiyatları, zaman serisinin korelasyonu klasik doğrusal yöntemlerle ve genetik algoritmalarla optimize edilmiş yapay sinir ağlarına dayanarak zaman frekans temelinde dalgacık (wavelets) yoluyla incelenmiştir. İncelenen yöntemin klasik doğrusal yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Birinci bölümde yer alan son çalışma ise portföy seçimi üzerine yoğunlaşmıştır. Gelecekte olası durum ve olasılıklarına bağlı olarak piyasalara gelen bilgilerin ışığında işleyen karar sürecine, yapay zeka yöntemleri ile yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Kullanılan yapay zeka yöntemi ile elde edilen karar destek sisteminin kurumsal yatırımcıların performansının üzerinde bir başarı sağladığı, daha farklı yapay zeka yöntemleri ile daha iyi sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir.

İkinci bölümde, piyasa yapıcılar ve piyasaların ajan temelli modellemesi başlığı altında, piyasa mekanizmasının işleyişi ve piyasa aktörlerinin mikro seviyedeki etkileşiminin toplamda piyasa olgusu ile bağlantısı ele alınmıştır. Bu bölümdeki ilk çalışmada, ajan temelli yaklaşım ile piyasalarda çiftli müzayedenin (double auction) varlığı durumunda denge noktasının oluşumu incelenmiştir. Bu konu, daha önceki çalışmalardan farklı olarak piyasanın asimetric olduğu ve piyasalarda spekülörlerin varlığı varsayımı altında incelenmiştir. Bölümde yer alan ikinci çalışmada, statik portföy optimizasyonunun kısıtlarına değinildikten sonra mikro ve makro seviyede piyasa durumu genetik algoritmalar yöntemi ile incelenmiştir. Makro seviyede inceleme gerçek piyasalarla karşılaştırılırken, mikro seviyede inceleme ile piyasa dinamikleri ve altında yatan mekanizma hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada yine ajan temelli yaklaşım kullanılmıştır. İkinci bölümün üçüncü çalışmasında ise elektronik piyasa yapıcılarını ele alınmıştır. Piyasa yapıcılarını, piyasada alım ve satım için sürekli arz ve talep sağlayan, piyasanın likiditesini arttırarak etkinliği sağlayan unsurlar ve doğal ajanlar olarak nitelendirilmiştir. Gerçek ve yapay veriler ile piyasa yapıcılarını rolü üstlenen yatırımcıların davranış kalıplarını elde etmeye çalışan bu çalışma, araştırmacılar için temel konuları ele alması bakımından yol gösterici olarak kabul edilebilir.

Üçüncü bölümde, oyun teorisi kapsamındaki çalışmalara yer verilmiştir. Oyun teorisi uzun geçmişinin yanı sıra işlemsel zeka alanında da yoğun şekilde ele alınmıştır. Bu bölümdeki ilk çalışmanın temel sorusu, asimetrik bilgiye bağlı olarak bazı yatırımcıların neden sürekli optimum seviyeden farklı seviyede piyasaya arzda bulunduğudır. Yatırımcıların bu tip ısrarlı hatalarına, insanın rasyonelliğinin sınırlılığı kavramı ile açıklama getirilmektedir. Yatırımcıların bu ısrarlı davranışı, takviyeli öğrenme (reinforcement learning) modeli ile ele alınmıştır. Bu bölümdeki ikinci çalışmada da yine takviyeli öğrenme modeli kullanılmış ve bu konuda trafikte gidiş yolunun seçimi iktisadi aktör yaklaşımıyla ele alınmıştır. Trafikte, alternatif yolların mesafe, yoğunluk ve güzergahın düzgünlüğü özellikleri ile sürücüler tarafından seçimi bir karar problemi olarak ele alınmış; sürücülerin farklı seçimleri ve yol tercihleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde maliyet tahmini ve karar-destek sistemleri başlığı altında, yöneylem araştırmaları ve mühendislik ekonomisi konularında yapılan işlemsel zeka yöntemleri uygulamalarına yer verilmiştir. Bu bölümdeki ilk makalede NASA'nın motor testlerinin maliyet tahmini için bulanık-sinir şeklinde bulanık mantık ve yapay sinir ağları karmaşası bir yöntem uygulanmıştır. Çalışmada, küçük veri kümesi ile bile çalışılabilmesi ve maliyet tahmini yapılacak konunun karmaşıklığının arttığı seviyede daha kesin tahminler yapabilmesi yönleriyle sistemin üstünlüğü belirtilmiştir. Bu bölümdeki ikinci çalışmada ele alınan konu ise bilişim teknolojileri konusunda çalışan küçük firmalarda proje bazlı yazılım geliştirme sürecinde proje ekibinin oluşturulması, maliyetlerin tahmini ve projedeki hata düzeltme sürecidir. Özellikle insan kaynaklarının farklı projeler için ortak olması, süreci daha da karmaşıklarıştırmaktadır. Bu çalışmada bilgisayar destekli simülasyon temelli bir karar destek sistemi ile projenin süresi, ekibin yapısı ve maliyetlerin tahmini konusunda bilgi sağlanması önerilmiştir. Dördüncü bölümde son olarak, karar destek sistemleri ele alınmış ve karar süreci ve bunun insanlar arasındaki farklılıkları gözetilerek ajan temelli yaklaşımların ele alınmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Belirgin veriler ve bunları değerlendirme sürecinde genel karar destek sistemleri yaklaşımı söz konusu olurken, bulanık bir çevrede bunun üzerine sezgisel yöntemlerin kullanımının daha iyi bir sistem olabileceğine dikkat çekilmiştir. Bu şekliyle genel karar destek sistemlerine, sezgisel veri madenciliği yöntemlerinin eklenmesi gibi sezgisel yöntemlerle karılmış karar destek sistemlerinin kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Beşinci bölümde işlemsel zeka yöntemlerinin politika belirleme sürecinde uygulamalarına yer verilmiştir. Bu başlık altındaki ilk çalışmada adli yargı sisteminde politika belirlenmesi üzerine çok ajanlı simülasyon uygulaması araştırılmıştır. Adli yargı sistemi, İngiltere’de anlaşılması güç bir konudur ve üç birim tarafından işletilmektedir. Bunlardan devlet politikalarındaki bir değişim, diğer birimler üzerine de karmaşık etkiye sahiptir. Bu çalışma ile sistemin bir bütün olarak ajan temelli yaklaşımla simülasyonu yapılmaya çalışılmış; olası devlet politikalarının diğer birimler ve tüm sistem üzerine etkisi araştırılmıştır. Beşinci bölümde yer alan diğer çalışmada ise ülkelerce belirlenen yabancı sermaye ve döviz politikalarının çokuluslu firmaların sermaye yapısına, yenilikçiliğine, merkez ve bağlı şirketlerin kazançlarına etkisi simülasyon yöntemi ile incelenmiştir. Ülkelerin yabancı sermaye ve döviz kısıtlamalarını kaldırmaları durumunda, sermayenin ve yeni teknolojilerin az gelişmiş ülkelere kaydıkları, kısa dönemli kısıtlamaların bile uzun dönemli olumsuz etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Altıncı bölümde işlemsel zeka yöntemlerinin örgüt ve yönetim bilimleri alanlarındaki uygulamalarına yer verilmiştir. Bu bölümdeki ilk çalışmada örgütlerin ajan temelli sosyal sistemler olduğu görüşü ile örgütlerdeki ajanların etkileşimleri, fizik biliminde geliştirilen belirsizlikler altında tahmin yöntemlerinden esinlenerek incelenmiştir. Bu bölümdeki ikinci çalışmada, eski teorileri de gözden geçirerek örgütler arası stratejik birleşmelerin, örgütlerin maddi değer temelli karar verme sürecine etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada, asimetrik belirsiz bilgi altında ajan problemi eski teorilerle birleştirilerek çözülmeye ve bir kavramsal model geliştirilmeye çalışılmıştır.

Sayısal ekonomi konusunun içeriği, yeni gelişen yöntemlerle birlikte işlemsel zeka yönünde genişlemiştir. Bu başlık altında, farklı disiplinlere uygulanabilir birçok sayısal yöntemin bir kısmı incelenen kitabın içerisinde araç olarak yer almıştır. Buna karşın kitabın içeriği bu yöntemlerin açıklaması yönünde değildir ve asıl katkısı ekonomi, finans ve yönetim bilimleri alanlarında çalışanlar için bu yöntemlerin uygulamalarına örnek olabilecek çalışmaların derlenmesidir.

Bu kitapta yer verilen incelemelerin yanı sıra bu konuda yapılan diğer çalışmalara bakıldığında, ekonomi teorisinde oldukça hakim olan rasyonel beklentiler teorisinin sık sık eleştirilere konu olduğu görülmüştür. Rasyonel beklentiler teorisine karşı görüş olarak,

ekonomik sistemlerin oyuncularının birbirinden farklı olduğu; aynı beklenti ve beceriye sahip olmadıkları savı ve ekonomik sistemlerin farklı özelliklere ve davranışlara sahip oyuncuların faaliyetlerinin bir sonucu olduğuna dayanan ajan temelli yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Ajan, bir sistemde yer alan diğer ajanlar ile etkileşim içinde bulunarak kendi faydasını maksimize etmeyi amaçlayan oyuncular olarak tanımlanabilir. Bu şekliyle ekonomik sistemlerde ajan olarak nitelendirilebilecekler kişiler, kurumlar veya ülkeler olabilir. Ajan temelli yaklaşımlarda sistemlerin dinamiklerinin keşfi ve optimum davranışları belirleme sürecinde işlemsel zeka yöntemlerinin uygulanması daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü bu tür bir yapıda önceden belirlenmiş modellerin sistemde denenmesinden çok sistemin işleyişini ve dinamiklerini ortaya koyan modellerin, işlemsel zeka yöntemleriyle arayışı daha uygun düşmektedir. Burada birçok ekonomik sistemde elde edilecek modelin tüm zamanlar için genel geçer bir model olmayacağı belirtilmelidir. Çünkü sistemin altında yatan düşünce ve sistemin çevresi sürekli bir değişim içindedir.

Ajan teorisi ile bağlantılı olarak finansal piyasaların modellenmesine ilişkin, Santa Fe Enstitüsü'nde gerçekleştirilen yapay hisse senedi piyasaları çalışmaları bu konuda iyi bir kaynak oluşturmaktadır. Bu çalışmalarda hisse senedi piyasalarının sanal ortamda simülasyonu gerçekleştirilmeye çalışılmış ve elde edilen bulgular gerçek piyasalarla karşılaştırılmıştır. İlgili çalışmalarda ortaya konan bir başka kavram ise heterojen ekonomik ajan kavramıdır. Bu konuda W. Brian Arthur, Richard Palmer ve Blake LeBaron'un çalışmalarına bakılabilir. Yine gerçek finansal piyasalarda ajan temelli yaklaşımlar için Sonia Schulenburg'un çalışmaları incelenebilir.

Ajan temelli yaklaşımın uygulamalarına yönelik bazı ilginç örnekleri içeren çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

ARTHUR, W.B., HOLLAND, J.H., LEBARON, B., PALMER, R.G., ve TAYLER, P., (1997) Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market, (Edt) Arthur, W.B., Lane, D., Durlauf, S.N., The Economy as an Evolving Complex System II içinde, Addison-Wesley, Readings, MA. s. 15-44

CHEN, S.H. (2005) Computational Intelligence in Economics and Finance: Carrying on the Legacy of Herbert Simon, Information Sciences, Vol.170, s.121-131

- CHEN, S.H. ve YEH, C.H., (2001) Evolving Traders and the Business School with Genetic Programming: A New Architecture of the Agent-Based Artificial Stock Market, Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 25, s.363-393
- PALMER, R.G., ARTHUR, W.B., HOLLAND, J.H., LEBARON, B. ve TAYLER, P., (1994) Artificial Economic Life: A Simple Model of a Stockmarket, Physica D, Vol.75, s.264-274
- SCHULENBURG, S. ve ROSS, P., (2000) An Adaptive Agent Based Economic Model, (Edt) Pier Luca Lanzi, Wolfgang Stolzmann, ve Stewart W. Wilson, Learning Classifier Systems: From Foundations to Applications, volume 1813 of LNAI içinde, pages 265-284. Springer-Verlag, Berlin, 2000.