Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi (10) 2005, 73-94

FİNANSTA EVRİMSEL ALGORİTMİK YAKLAŞIMLAR: GENETİK ALGORİTMA UYGULAMALARI

EVOLUTIONARY ALGORITHMIC APPROACHES IN FINANCE: APPLICATIONS OF GENETIC ALGORITHMS

Hakan ER*
M. Koray ÇETİN**
Emre İPEKÇİ ÇETİN**

ÖZET

Bu çalışmanın amacı evrim ve genetiğin doğal sürecine dayalı stokastik bir araştırma ve optimizasyon tekniği olan genetik algoritmaları ve finans alanındaki uygulamalarını incelemektir. Çalışmada ilk olarak evrimsel algoritmalar, genetik algoritmalar ve genetik algoritmaların çalışma adımlarına değinilmiştir. Daha sonra genetik algoritmaların finans alanındaki uygulamaları ile ilgili yazın taraması yapılmıştır. Finansal uygulamalar, işletme finansı ile finansal piyasa sistemleri ve finansal ekonomi olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir. Genetik algoritmaların finans uygulamasına yönelik çok yoğun bir literatür bulunmasına rağmen Türkiye'deki piyasalara uygulamaları oldukça kısıtlıdır. Yapılan yazın taraması ile bu yöntemin finans alanındaki kullanım alanlarına örnekler verilerek bu konu ile ilgilenen araştırmacılara yol gösterilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: *Evrimsel Algoritmalar, Genetik Algoritmalar, Finansal Uygulamalar.*

ABSTRACT

The objective of this study is to review genetic algorithms, which are evolution and natural genetic process based stochastic search and optimization techniques, and their financial applications. First, the concepts of evolutionary algorithms and genetic algortihms are explained. Then, literature on the applications of genetic algorithms on finance is reviewed. Financial applications of genetic algoritms are analyzed under two main headings: applications of genetic algorithms in the field of corporate finance and applications on financial market systems and financial economics. Although, there is an enormous literature on financial applications of genetic algorithms, applications on Turkish markets are quite limited. With the review of the financial application of this algoithm it is intented to provide directions for Turkish researchers in this field.

Keywords: *Evolutionary Algorithms, Genetic Algorithms, Financial Applications.*

* Akdeniz Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü Öğretim Üyesi
** Akdeniz Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü Araştırma Görevlisi

GİRİŞ

Evrimsel süreç, hayvanların ve bitkilerin çevrenin sunduğu fırsatlara uyum göstererek fayda sağlamasını olanaklı kılmıştır. Bu süreci ele alarak, evrimin bilgisayarlı (computational) ve matematiksel simülasyonları ile geleneksel optimizasyon süreçlerine yeni bir yaklaşım geliştirilebileceği düşünülmüştür. Evrimsel ilkelere bağlı kalınarak oluşturulan algoritmalara evrimsel algoritmalar adı verilmiştir. Evrimsel algoritmalar, evrimin genellikle bilgisayar ortamında simüle edilmesine yönelik metodların oluşumu olarak tanımlanabilir. Evrimsel algoritmalar, rassal çeşitlendirmeye ve seçime dayalı populasyon temelli bir yaklaşımı içinde barındıran metotlar alanıdır.

"Geleneksel arama metotları, probleme bir çözüm adayı önerir ve onu değiştirerek daha iyi çözümler elde etmeye çalışır. Aksine evrimsel algoritmalar, bir çözüm adayları populasyonu oluşturur ve bu populasyon zamanla evrimleşir. Bir adayın çözüme ne kadar yakın olduğu, uygulamaya bağlı bir fonksiyondur. Bir çözüm adayı bir parametreler topluluğunu, bir kuralı, bir kurallar grubunu veya ağaç yapısında bir bilgisayar programını temsil edebilir. Hepsinde de, algoritma her adayın ne kadar güçlü olduğunu hesaplar ve buna göre bir sonraki neslin ebeveynleri olacak ya da yok olacak bireyleri belirler. Daha sonra, makul bir yeni nesil oluşturmak için ebeveynlere genetik arama işlemcilerini (yeniden yapılanma ve mutasyon) uygular. Bu döngü her defasında daha güçlü bireyler oluşturarak tekrarlanır" (http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/evrim.pdf).

Yapay zekanın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel algoritmaların alt dalları olarak genetik algoritmalar, genetik programlama, yapay sinir ağları (neural networks), benzetimli tavlama, tabu arama ve bunlarla birlikte bulanık mantık (fuzzy logic) işletme, temel bilimler ve mühendislik problemlerinde tek başına veya karma sistemler olarak kullanılabilmektedir (Back vd., 2000).

Bu çalışmada finans uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir yöntem olan genetik algoritmalar üzerinde durulacaktır.

GENETİK ALGORİTMALAR

Araştırmalarda birçok olasılık söz konusu olurken bu olası çözümleri bir araya getiren tek ve basit bir çözüm veya her bir olası durumun tek tek incelenmesi olanaklı olmamaktadır. Genetik algoritma teknikleri ile olası durumların akıllıca incelenmesi olanaklı kılınmaktadır. Genetik algoritmalar, evrimsel sürecin bilgisayarda simülasyonunu gerçekleştirme metodu ve tam olarak rasgele arama tekniği olarak açıklanabilir.

Genetik algoritmalar, ilk defa Michigan Üniversitesi'nde John Holland ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Holland, araştırmalarını, arama ve optimumu bulma için, doğal seçme ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. İşlem boyunca, biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesi örnek alınmış, optimum bulma ve makine öğrenme problemlerinde, bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir (Goldberg, 1989).

Çoğu pratik optimizasyon problemlerinde karışık değişkenler (sürekli ve kesikli) ve araştırma alanında süreksizlikler söz konusudur. Eğer bu durumlarda standart doğrusal olmayan programlama teknikleri kullanılırsa hesaplamalar açısından çok pahalı ve etkin olmayan durumlarla karşılaşılır. Genetik algoritmalar bu durumlar için iyi bir çözüm oluşturmaktadır (Bingul vd., 2000).

Genetik Algoritmalar (GA), dört açıdan normal optimizasyon ve araştırma süreçlerinden ayrılmaktadır (Goldberg, 1989; Bingul vd., 2000):

1. GA, parametrelerin kendisi ile değil onun kodları (temsilcileri) ile çalışır. Bu şekliyle araştırma metodu, kesikli ve tamsayı programlama problemlerinin çözümlerinde uygulanabilir.
2. GA, tek nokta üzerine değil bir noktalar popülasyonu (aday çözümler kümesi) ile araştırma yapmaktadır. Bu şekilde yerel optimum tuzağına düşme olasılığı daha zayıftır.
3. GA, sadece bedel (amaç fonksiyonu) bilgisi değerini kullanır, türevlerini veya diğer ikincil bilgilerini değil.
4. GA, rassal şekilde, ebeveyn seçimini ve eski jenerasyonlardan çaprazlama yöntemini kullanır. Böylece etkin bir şekilde elde olan bilgilere dayanarak yeni kombinasyonlar oluşturur ve uygunluk değeri daha iyi yeni jenerasyonlar geliştirir.

Genetik algoritmalar, çözüm topluluğuna adım adım genetik operatörler uygulayarak ve uygun topluluktan arama yoluyla yeni nesiller üreterek en iyi çözümlere ulaşılmasını sağlar. Pratik problemlere iyi sonuçlar veren basit genetik algoritmaların çoğu üç ana operatörden oluşur; Seçim (selection), Çaprazlama (crossover) ve Mutasyon (mutation).

Seçim

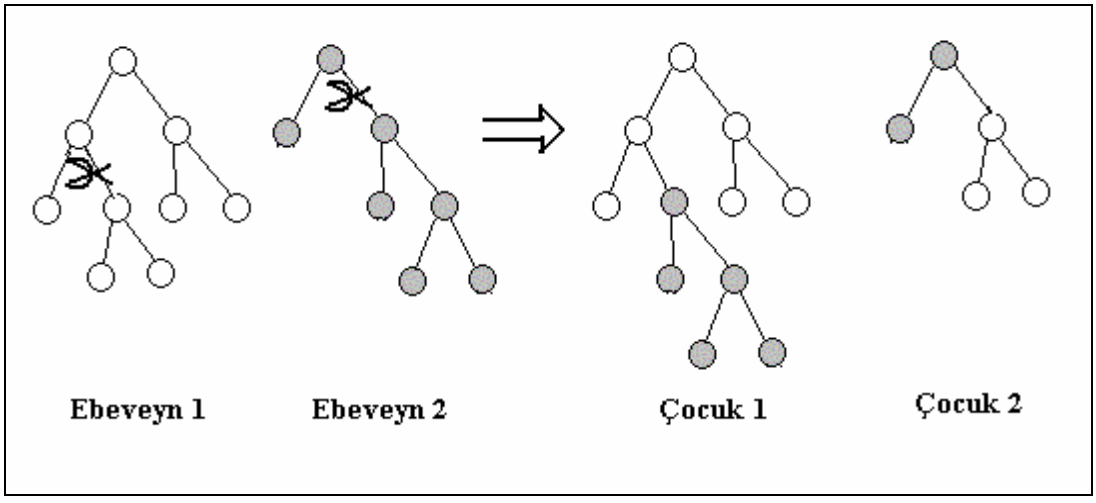
Seçim, uygunluk değerini temel alarak, populasyondan uygunluk değeri düşük olan bireylerin elenmesi ve yerlerine uygunluk değerleri yüksek bireylerin kopyalarının konmasıdır. Uygunluk değeri; hangi bireyin sonraki topluluğa taşınacağını belirler. Bir dizinin uygunluk değeri, problemin amaç fonksiyonu değerine eşittir. Bir dizinin gücü uygunluk değerine bağlı olup iyi

bir dizi, problemin yapısına göre maksimizasyon problemi ise yüksek, minimizasyon problemi ise düşük uygunluk değerine sahiptir.

Seçim aşamasının önemi, topluluğun (population) boyutu ile ilişkilidir. Seçimde küçük topluluk boyutu ile çalışılması durumunda topluluk çeşitlendirmesinin olası iyi alternatiflerin oluşması için yetersiz kalması sorunu yaşanabilir. Bu sebeple seçimde, topluluktaki bireylerin çeşitlendirmesini daraltan bir yöntemin uygulanması iyi sonuç vermeyebilir (Back vd., 2000: 166).

Çaprazlama

Çaprazlama operatörünün altında yatan düşünce, iyi uygunluk değerine sahip iki bireyin iyi özelliklerini birleştirerek daha iyi sonuçlar elde etmektir. Fakat hangi özelliklerin iyi performans sağladığına yönelik bir fikir edinilemediği için özelliklerin değiş tokuşu şeklinde birleşim rassal olarak gerçekleştirilir. Bu şekilde rassal olarak yapılan birleşimler ile iyi sonuçlar alınması beklenir. Tabi ki bazen en kötü özelliklerin toplandığı bir çocuk oluşumu da söz konusu olabilir. Bu durumda bu çocuk elenecektir (Back vd., 2000:68). Basit bir çaprazlama ikili sistem üzerinde aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



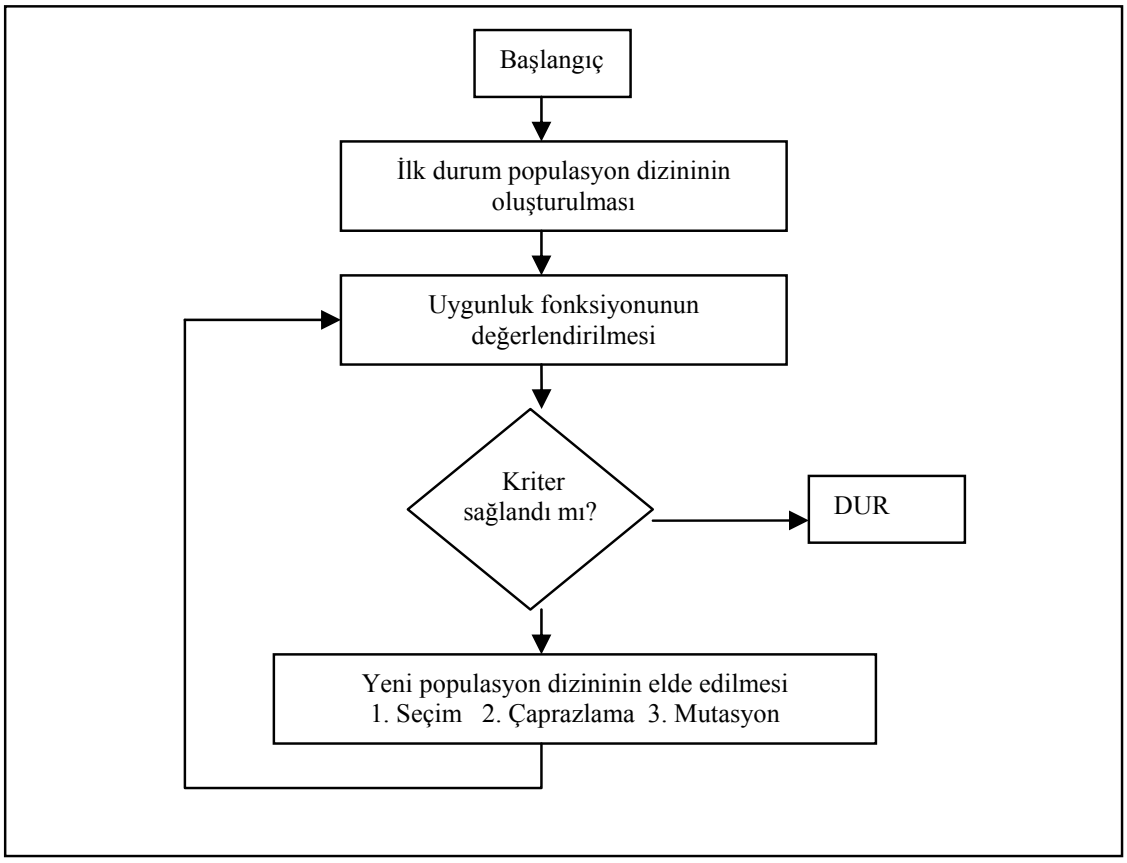
Şekil 1. İkili sistem üzerinde basit bir çaprazlama (Kaynak:Tsang vd.,2000)

Mutasyon

Genetik algoritmalarda çeşitlendirmeye gitmede mutasyondan faydalanılır. Mutasyonda genlerden biri rassal olarak değiştirilir. Eğer ikili (0-1) yapıda bir metod tercih edilmişse bu durumda bir genin 0 ise 1, 1 ise 0 yapılması bir mutasyon olacaktır. Genellikle kullanılan mutasyon oranı, birin birey gen uzunluğuna bölümü seviyesindedir. Örneğin 100 gen birimine

sahip bir birey için oran 0.01'dir. Diğer deyişle rassal olarak düşünüldüğünde her bir genin mutasyona uğrama olasılığı % 1'dir (Back vd.,2000, s.68).

Bu tür genetik operatörlerin kullanımı ile en iyi uygunluk değerine ulaşmaya çalışan genetik algoritmaların akış diyagramı aşağıdaki şekildeki gibi olacaktır. Algoritmanın durması için sağlanması gereken kriter; genellikle belli bir uygunluk değerinin yakalanması veya belirlenen sayıda döngünün sağlanması olarak verilmektedir. Bir genetik algoritma süreci genel olarak aşağıdaki şekildeki gibidir:



Şekil 2. Genetik algoritma süreci (Kaynak: Bingul vd., 2000)

GENETİK ALGORİTMALARIN FİNANS UYGULAMALARI

Genetik algoritmaların ülkemizde daha çok mühendislik ve fen bilimleri alanında uygulandığı (Gözütok ve Özdemir, 2004; Kahraman ve Özdağlar, 2004; Özcan ve Alkan, 2002; Uçaner ve Özdemir, 2004) finans alanında kısıtlı kaldığı görülmektedir. Yurtdışında ileri boyutta çalışılan genetik algoritma yönteminin ve diğer evrimsel algoritmaların varlık tahmini, kredi derecelendirme, portföy optimizasyonu, müşteri profilinin belirlenmesi, risk değerlemesi, ekonomik modelleme, finansal zaman serileri analizi ve satış tahmini gibi finansal konularda başarılı uygulamaları görülmüştür (Feldman ve Treleaven, 1994; Kingdon ve Feldman, 1995).

Leinweber ve Arnott (1995), genetik algoritmaların finans alanındaki kullanımı ile ilgili yararları aşağıdaki şekilde belirtmişlerdir:

- Genetik algoritmalar sonuç-odaklı'dır. Sonuç, tahmin gücünde artış yada kıstas gösterge üzerinde sağlanan getiri şeklinde olabilir.
- Genetik algoritmalar parametre optimizasyonları için mükemmel araçlardır.
- Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlere göre daha fazla çeşitlilik ve kısıtların dikkate alınmasını sağlarlar.

Bu çalışmada genetik algoritmaların finans alanındaki kullanımları incelenerek, yapılan çalışmaların bir kısmı özetlenmiştir. Çalışmada genetik algoritmaların finans alanındaki uygulamaları iki temel başlık altında incelenmiştir: 1- İşletme Finansı ile ilgili çalışmalar, 2- Finansal Piyasa Sistemleri ve Finansal Ekonomi ile ilgili çalışmalar.

İşletme Finansı İle İlgili Çalışmalar

Genetik algoritmaların işletme finansı alanındaki en önemli uygulamaları iflas tahmin modelleri ile ilgilidir. İflas tahminleri özellikle kredi verenler ve bağımsız denetçiler için çok önemlidir. Bağımsız denetimin en önemli sorumluluklarından biri müşterilerini olası iflas risklerine karşı uyarmaktır. Denetçiler müşterileri olan firmaların kantitatif verilerini klasifikasyon modellerinde kullanarak iflas tahmininde bulunmaya, dolayısıyla "işletmenin sürekliliği" modifikasyonu ile denetçi raporu düzenleyip düzenlememe kararını sağlıklı vermeye çalışırlar. Benzer yöntemleri bankalar müşterileri ile ilgili iflas tahminleri için kullanırlar (Lenard vd., 1998).

İflas tahmin modelleri iki şekilde yanılabilirler. Bunlardan biri modelin yüksek olan iflas olasılığını düşük göstermesidir. Bu hataya "1. tip hata" (type 1 error) denir. Bu hatanın kredi veren açısından maliyeti kaybedilen faiz ve anaparadır. Diğeri, modelin iflas olasılığı düşük olan firmaya yüksek iflas olasılığı atamasıdır. Bu hataya "2. tip hata" (type 2 error) denir. Bu hatanın maliyeti ise kaçan kâr fırsatlarıdır. Altman vd.'nin (1977) bulguları 1. tip hatanın maliyetinin 2. tip hataya göre çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak, bağımsız denetim firmaları açısından 2. tip hatanın önemi kredi verenlerden daha fazladır. Eğer denetçi firma müşterisinin iflas edebileceği yönünde bir görüş bildirdikten sonra müşterisi faaliyetlerine sorunsuz bir şekilde devam ederse, denetçinin müşterileri nezdindeki güvenilirliği önemli ölçüde azalacaktır.

Muhasebe ve finans literatüründe bu iki hata türünü asgariye indirecek iflas tahmin modelleri ile ilgili çalışmalarda en çok kullanılan yöntem doğrusal diskriminant analizidir (DDA) (Nanda ve Pendharkar, 2001).

Ancak DDA'nın varsayımları son derece kısıtlayıcıdır (her firma grubu çok değişkenli normal dağılıma sahiptir, her grubun varyans-kovaryans matrisi eşittir, ortalama vektörleri, varyans matrisleri ve öncelikli olasılıklar önceden bilinmektedir) (Altman vd., 1977). Bu kısıtlayıcı varsayımların neden olduğu sorunlar akademisyenleri probit, logit modelleri, hedef programlama ve yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi yapay zeka yöntemlerini uygulamaya itmiştir.

Konuyla ilgili ilk GA uygulaması Kingdon ve Feldman'ın (1995) çalışmalarıdır. Kingdon ve Feldman'ın çalışmalarında GA ile çoklu diskriminant analizini (ÇDA) karşılaştırılmıştır. Yazarlar GA'dan finansal rasyoları kullanarak iflasla ilgili karar kuralları oluşturmasını istemiş, oluşan kuralların performansı çoklu diskriminant analizinin tahmin gücüyle karşılaştırılmıştır. GA'nın tahminlerinin ÇDA'nın tahminlerinden %10 daha başarılı olduğu bulunmuştur.

GA'ın konuyla ilgili bir diğer uygulaması Varetto'nun (1998) çalışmasıdır. Varetto'nun bu çalışmasında, ÇDA'nın tahminlerinin GA'ların tahminlerinden daha isabetli olduğu bulgusuna ulaşılmakla birlikte, GA'ların sonuçlara daha az veriyle, çok daha kısa sürede ulaştıkları tespit edilmiştir.

Nanda ve Pendharkar (2001), çalışmalarında DDA, hedef programlama ve GA'ların iflas tahmini konusundaki başarılarını karşılaştırmışlardır. Yazarlar hem hedef programlama hem de GA'ların DDA'dan daha iyi sonuçlar verdiği bulgusuna ulaşmışlardır. GA'ların istenen hata türünü minimize etmeye olanak sağladığı görülmüştür. Yazarlar GA'ların uygunluk fonksiyonunu 1. tip hatayı minimize edecek şekilde oluşturmuşlardır. Bu kredi verenlerin istedikleri hata türüdür. Ancak denetçiler için 2. tip ya da her iki hatanın minimizasyonu daha önemli olabilir. GA'ların uygunluk fonksiyonunda yapılacak değişiklikler ile kullanıcıların tercihlerini sonuçlara yansıtabildiği görülmüştür. Hedef programlamanın ise ancak toplam hatayı minimize ettiği, 1. ve 2. tip hatanın ayrı ayrı minimizasyonu konusunda herhangi bir esneklik sağlayamadığı belirtilmiştir.

GA'ların işletme finansı alanındaki bir diğer uygulaması kredi derecelendirmedir. Kredi derecelendirmesi özellikle bankaların karşılaştıkları en önemli sorunlardan biridir. Kredi derecelendirmesinin temel amacı kredi başvurusunda bulunan kişi ya da kurumun belirli bir zaman periyodu içinde aldığı krediyi geri ödeyemez duruma düşüp düşmeyeceğinin belirlenmesidir. Kredi kartı müşterileri söz konusu olduğunda müşterinin kartı kullanmaya devam edip etmeyeceği sorusunun cevabı önem kazanmaktadır. Bu tür konularda isabetli tahminler için yapılan çalışmalarda iflas tahmin modellerinde kullanılan geleneksel yöntemler (DDA, ÇDA, Logit, Probit, NN, GA) kullanılmaktadır.

Davis'in (1994) çalışmasında GA temelli modellerin geleneksel modeller ve bir başka yapay zeka yöntemi olan yeni yaklaşımlardan yapay sinir ağlarına (neural network) göre daha başarılı sonuçlar verdiği ileri sürülmektedir.

Desai vd. (1997), geleneksel modellerle yapay sinir ağları ve genetik algoritmaları karşılaştırmışlardır. Desai vd.'nin çalışmalarında yapay sinir ağları ve genetik algoritmaların geleneksel yöntemlere anlamlı bir üstünlük sağlayamadığını gösterilmiştir. Ancak yapay sinir ağları ve genetik algoritmaların bu alanda kullanımının yöntemlerin çeşitlendirilmesiyle daha başarılı sonuçlar verebileceği belirtilmiştir.

Geleneksel yöntemler özellikle kredinin kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılıyor ise kullanımın devamlılığı ve seviyesi, kredi kullanım zamanı, müşterinin krediyi ödeyemez duruma gelme zamanı konularında eşanlı bir değerlendirme şansı vermemektedir. Birden fazla amacın aynı anda değerlendirilmesine olanak sağlayan genetik algoritmalar gibi evrimsel algoritmaların bu alanda çok başarılı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir (Thomas, 2002).

Finansal Piyasa Sistemleri ve Finansal Ekonomi İle İlgili Çalışmalar

Finansal Piyasa Sistemlerinde Yeni Yönelimler

Finansal piyasaların *'evrimsel kompleks adaptif sistemler'* olduğu görüşü, finansal ekonomistler arasında giderek yaygınlaşmaktadır. Holland (1975, 1992), Holland vd. (1987), Goldberg (1989), Arthur (1993), Kaufmann (1993) ve diğerlerinin katkıları, bu sistemlerin sanal benzerleriyle, bilgisayarlı akıllı ajanlarının simulasyonuna olanak sağlamıştır.

Finansal piyasa sisteminin özelliklerine geçmeden önce sistemin temelindeki 'adaptif ekonomik ajan' ın tanımını yapmak gerekir. Lucas'a (1986) göre 'Ekonomik Ajan', durum-aksiyon kombinasyonlarının sonuçlarını değerlendiren karar kuralları ve tercihler kümesidir. Lucas, ekonomik ajanın adaptif özelliklerini açıklarken, karar kurallarının sürekli gözden geçirilip revize edildiğini, yeni karar kurallarının deneyimlerle sınandığını, arzu edilen sonucu veren karar kurallarının başarılı olamayan kuralların yerini aldığını belirtir.

Evrimsel kompleks adaptif sistemler kuramına göre kompleks yapının beş belirleyici özelliği aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Markose, 2002):

- İlk belirleyici özellik sistemdeki adaptif ajanların varlığıdır. Bu ajanların küresel değişimlere önceden programlanmamış tepkiler verebilmelerini sağlayacak algoritmik yetenekleri vardır. Sistemdeki doğrusal olmayan geri besleme döngüsü ajanlara davranış kurallarını değiştirebilmeleri olanağını sağlar. Bu da sistemin küresel özelliklerini değiştirir.

- Adaptif ajanlar kümesinin küresel özellikleri sistemdeki bir ajanın ya da ajanlar grubunun amaçlı davranışlarının ya da programlarının geniş ölçekli tekrarı değildir.
- Ajanların yerel programları ile ilgili bilgi küresel sonuçlarla ilgili herhangi bir fikir vermez. Küresel sonuçların tahmin edilemezliği ajanların heterojenliğini sağlar.
- Kompleks sistemlerdeki adaptif öğrenme belirli davranış kategorilerini stabilize eder. Bu sistemlerde öğrenme, içgüdüsel ya da alışılagelmiş hale gelir ve yetenekli davranışa dönüşür.
- Kompleks sistemler düzenden kaosa dönüşüm sürecindeki kritik noktalarda bir yavaşlama sergilerler. Sistemde düzenle kaos arasındaki gidiş-geliş sonsuz bir döngüdür.

Holland'ın genetik algoritmalar yoluyla yaptığı katkıları, Lucas ekonomik ajanının karar kurallarının bilgisayar programları ile temsil edilebilmesini ve kompleks adaptif sistemlerin bilgisayar ortamında simule edilebilmesini sağlamıştır. Herbir bilgisayar programı bir problemin çözümü olarak görülebilir. Lucas ajanının kromozomları sıfır ve birlerden oluşan ikili dizileri ile değiştirilebilir ve bu diziler tarafından temsil edilen bilgisayar programları toplumu ve bu toplumun biyolojik evrimi genetik algoritmalar ile simule edilebilir. Aşağıdaki tablo Lucas ajanı ve genetik algoritma arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Tablo 1. Lucas Ajanı ve Genetik Algoritmalar

Lucas Ajanı	Genetik Algoritmalar
• Karar kuralı	• Birler ve sıfırlardan oluşan ikili dizi
• Karar kuralları kümesi	• İkili diziler kümesi
• Karar kurallarının gözden geçirilmesi	• Uygunluğun (Fitness) değerlendirmesi
• Kötü kuralların yerini alan iyi kurallar	• Seçim
• Yeni kuralların oluşturulması	• Çaprazlama ve mutasyon
• -	• Şema

(Kaynak: Chen, 2001)

Holland'ın genetik algoritmalarının özündeki kavram yapı taşları ya da şemadır. Lucas'ın ekonomik ajanının sahip olmadığı bu özellik, karar kuralının karakteristiğini belirleyen temel öğrenme, evrim ve adaptasyon birimi gibi özel bir kromozom durumudur. Her bir karar kuralı belirli şemaların kombinasyonudur. Karar kurallarının gözden geçirilip revize edilmesi süreci, şemaların en doğru kombinasyonunun bulunması sürecidir.

Genetik algoritmalar, Lucas ajanının bilgisayar ortamında simule edilebilmesini sağlamakla kalmamış, detaylarını da zenginleştirmiştir.

Holland'ın kurama yaptığı bir başka katkı da sınıflandırma (classifier) sistemleridir. Sınıflandırma sistemleri Newell-Simon[1] türünde uzman sistemleridir. Bu sistemler *eğer-ise (if then) ya da durum-aksiyon* kurallarının popülasyonudur. Sınıflandırma sistemlerinin klasik sistemlerden farkı adaptif olmalarıdır. Holland sınıflandırma sistemleri ile piyasa ekonomisindeki rekabet olgusunu eğer-ise kuralları popülasyonuna uygulamıştır. Bunu sağlayabilmek için de bucket-brigade denen, muhasebe sistemine benzer bir algoritma kullanılmıştır. Sistem arzu edilen sonuçlar veren eğer-ise kurallarını alacaklandırmakta, kötü sonuçlar verenleri ise borçlandırmaktadır.

Holland'ın, ekonomistlere armağan ettiği bu modelle ilgili olarak ekonomi alanında yapılmış hiç bir uygulamalı çalışması yoktur. Ekonomi alanındaki ilk çalışma Marimon vd. (1991) tarafından gerçekleştirilen basit takas ekonomisi konulu çalışmadır. Bu çalışma Kyotaki ve Wright'ın (1989) benzer çalışmasındaki klasik ajanın, adaptif ekonomik ajan ile değiştirilerek yapılmış tekrarıdır.

Genetik algoritmaların ekonomik uygulamaları ile ilgili en önemli katkıyı Santa Fe Enstitüsü sağlamıştır. Santa Fe ekonomistleri, Holland'ın araç kitini kullanarak yapay hisse senedi piyasaları kavramını geliştirmişlerdir. Bu sistemde, klasik yaklaşımın rasyonel ekonomik ajanı yerine yapay adaptif ekonomik ajanlar yer almaktadır. Adaptif ekonomik ajanın rasyonalitesi sınırlıdır (bounded rationality).

Hipotezin test edilmesi ile ilgili klasik yaklaşımda, arama olasılıksal bağımsızlık varsayımına dayanır. Analizde klasik olasılık modelleri ve klasik optimizasyon teknikleri kullanılır. Didaktif yöntemler genellikle *'optimal'* olan tek çözüme (karar kuralı) ulaştırır. Ortaya çıkan kurallar genellikle ya tek doğrusal eşitlik, ya da tek doğrusal eşitlik sistemleridir. Ancak klasik yaklaşım arama ile ilgili uygulanabilir bir yöntemi formalize edebilmiş değildir ve bu kavrama dayanan bir etkin piyasa hesaplanamaz.

Yapay hisse senedi piyasalarının genetik algoritmalarla simulasyonları, bireylerin davranışları ve sistemin üreteceği önceden tahmin edilemeyen sonuçlar arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamızı sağlar. Bu tür simulasyonlar özellikle piyasaların dengeye ulaşması süreciyle ilgili önemli ipuçları verecektir.

[1] Uzman sistemleri, bir insanın karar verme yeteneklerini gerektirecek problemleri çözebilen bilgisayar programlarıdır. Allen Newell ve Herbert Simon 1955'te RAND Corporation'daki çalışmalarıyla bilgisayarların kapasitelerinin basit hesaplamaların çok üstünde olacağını kanıtlamışlardır. İlk yapay zeka araştırması olarak bilinen çalışmaları sonucu 'Mantık Teorisyeni' adını verdikleri yapay zeka programını geliştirmişlerdir.

Yapay hisse senedi piyasaları ile ilgili ilk örnek uygulama Palmer vd.'nin (1994), Grossman ve Stiglitz (1980)'in modelini temel alarak, sınırlı rasyonaliteye sahip bireylerden oluşan piyasalarda da rasyonel beklentiler dengesine ulaşılabilineceğini gösterdikleri çalışmadır.

Santa Fe akademisyenlerinin konuyla ilgili ikinci çalışmaları Artur vd.'nin (1997) endojen-beklentiler piyasası ile ilgili çalışmasıdır. Endojen-beklentiler piyasasında varlık fiyatlarını piyasa oyuncularının beklentileri belirler, ancak bu beklentiler de diğer piyasa oyuncularının beklentileri üzerine yapılan tahminlerle şekillenir. Yapılan deneyler piyasa ile ilgili tahminlerin sınırlı sayıda olduğunun varsayıldığı durumda indaktif rasyonel ajanların oluşturduğu bu piyasaların rasyonel beklentiler dengesine, alternatif tahminlerin miktarı ile ilgili daha gerçekçi bir varsayım (daha fazla sayıda alternatif olduğu) kabul edildiğinde ise kendi kendini organize eden (self-organizing) kompleks adaptif sisteme ulaşıldığını göstermiştir.

LeBaron vd. (1999), çalışmalarında, simüle ettikleri yapay hisse senedi piyasasının zaman serisi özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar deneylerini iki ayrı öğrenme frekansı için gerçekleştirmişlerdir. Ekonomik ajanların ortalama her 250 periyotta bir öğrendikleri frekansı "hızlı öğrenme frekansı", ortalama her 1000 periyotta öğrendikleri frekansı ise "yavaş öğrenme frekansı" olarak adlandırmışlardır. Deney sonuçları hem hızlı öğrenen hem de yavaş öğrenen grubun varlık getirilerinin dağılımının aşırı basıklık sergilediğini, basıklığın hızlı öğrenen grup için çok daha yüksek olduğunu göstermektedir. Deneyler otokorelasyonun her iki grup için de düşük olduğunu, ARCH etkilerinin sadece hızlı öğrenen grup için önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yavaş öğrenen grupta rassal yürüyüş gözlemlenirken hızlı öğrenen grup için rassal yürüyüş reddedilmiştir. Deneyler yavaş öğrenen grubun rasyonel beklentiler dengesine ulaştığını ve bu dengede ajanların varlıkların temel değerleri konusunda mutabakata vardıklarını, hızlı öğrenen grubun ise dengeye ulaşamadığını, getiri dağılımlarının normal olmadığını, işlem hacimlerinin yavaş öğrenen gruptan çok daha fazla olduğunu göstermektedir. LeBaron vd.'nin bulguları ajanların öğrenme hızının piyasaların etkinliğe ulaşması sürecindeki önemini göstermektedir.

Joshi vd. (1999) çalışmalarında ekonomik ajanların yalnızca temel analiz kurallarını kullandıkları yapay hisse senedi piyasasıyla hem temel, hem de teknik analiz kurallarını kullanabildikleri piyasayı karşılaştırmışlardır. Deneylerin sonuçları tüm ajanların temel analiz kurallarını kullanarak yatırım kararlarını aldıkları piyasanın rasyonel beklentiler teorisinin öngördüğü piyasaya yakın olduğunu, hem temel hem de teknik analiz kuralları kullanılan piyasada ise hakim stratejilerin teknik analiz kuralları olduğunu, oluşan simetrik Nash dengesinde ajanların refah düzeyinin sadece temel analiz kullanılan piyasadakine oranla çok daha düşük olduğunu göstermiştir. İkinci piyasada köpükler ve çöküşler sıklıkla oluşmakta, piyasadaki gürültü

artmaktadır. Yazarların bulguları teknik analiz kurallarının kullanıldığı piyasalarda bu kuralların sağladığı kısa vadeli faydaların temel analiz kurallarının sağladığı uzun vadeli faydalara baskın olacağını ve böylece piyasanın en azından kısa vadede rassal yürüyüş modelinin öngördüğü özelliklerden uzak olacağını, eğilim takibi (trend following) davranışının piyasalarda gözlemleneceğini göstermektedir.

Chen ve Yeh (1999), çalışmalarında yapay hisse senedi piyasaları çalışmaları için *okul (school)* adını verdikleri bir kavramı içeren farklı bir mimari önermişlerdir. Yazarların modeli oluştururken temel motivasyonu, Harrald'ın (1998) sosyal süreçlerde adaptasyonun fenotip[2] yoluyla genotip[3] üzerinde gerçekleşebileceği konusundaki şüphesini ifade ettiği eleştirisidir. Yapay hisse senedi piyasalarının oyuncularının başkalarının stratejilerini (genotiplerini) taklit edebilmeleri için stratejilerin gözlemlenebilir olması gereklidir. Ancak, gözlemlenebilir olan stratejilerin sonuçlarıdır.

Ekonomik ajanların, stratejisinin gerektirdiği yatırım kararını, kararın arkasındaki stratejiyi bilemeden taklit etmeleri ve sosyal süreçte evrimin gerçekleşmesi çok zor olacaktır. Yatırımcılar kârlı stratejilerini diğerleriyle paylaşmazlar, paylaşılmayan stratejiler gözlemlenemez ve gözlemlenemeyen stratejiler de taklit edilemez. Chen ve Yeh, okulu bu açmazın çözümünde fenotip ile genotipi ilişkilendiren, bir başka deyişle başarının sırrını ortaya çıkaran bir prosedür olarak önermişlerdir. Okul tek bir popülasyon tarafından yönlendirilen evrimsel bir popülasyondur. Modeldeki okul, günlük hayattan bildiğimiz anlamı içeren, ancak daha kapsamlı olan bir kavramdır. Okul işletme, finans, iktisat vb eğitimi veren üniversiteleri, bu konularda basılmış kitapları, yayınlanmış makaleleri, en geniş kapsamda da medyayı ifade etmektedir. Okul popülasyonundaki ajanların stratejilerini saklama gibi bir kaygıları yoktur. Aksine, ajanlar başarılarını bilgilerini paylaşarak artırırlar. Dolayısıyla taklit (imitasyon) okul sayesinde gerçekleşir. Modelde ekonomik ajanların arama yoğunluğu psikolojik ve ekonomik faktörlerle bağlantılıdır. Taklit dışında, spekülasyon ve sürü güdüsü gibi faktörlerin de evrimsel öğrenme sürecine etkisi dikkate alınmaktadır.

Chen ve Yeh'in, okul kavramını içeren modeli kullanarak simule ettikleri piyasada oluşan finansal zaman serisi verileri üzerinde yaptıkları ekonometrik analizler rassal yürüyüş hipotezini ve etkin piyasalar hipotezini desteklemektedir. LeBaron (2005) yazarların bu bulgularını "biraz merak uyandırıcı" bulduğunu ifade etmekle birlikte uzun vadede fiyatların temel değerlerinden çok fazla sapmaması gerektiği varsayımından hareket ederek sonucun anlamlı olabileceğini düşünmektedir.

[2] Bir canlının gözle görülebilen tüm özelliklerine verilen ad

[3] Bir canlının sahip olduğu genler topluluğu

Finansal piyasaların etkinliğe ulaşma süreci, işleyişi ile ilgili çalışmalarda evrimsel algoritmaların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmaların finansın en temel teorilerinin (özelllikle piyasa etkinliği ile ilgili teorilerin) sorgulanması ve revize edilmesi sonucuna doğru yönlendiği görülmektedir. LeBaron (2005) literatürdeki ajan temelli bilgisayarlı finans (computational finance) ile ilgili yayınları taradığı çalışmasında yakın gelecekte denge piyasa dinamikleri ile ilgili mevcut teorilerin yerini alacak, adaptif piyasa oyuncularının sürekli öğrenme mücadelesinin piyasaları etkinliğe yönlendirdiği, ama etkinliğe tam anlamıyla ulaşılamadığı bir yapıyı yansıtan teorileri görmenin mümkün olduğunu ifade etmiştir.

Finansal Piyasa Sistemleri ve Finansal Ekonomi Çalışmaları

Genetik algoritmaların finansal piyasa sistemleri ve finansal ekonomi ile ilgili çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışmaların daha çok döviz kuru ve hisse senedi piyasası ile portföy seçim problemleri üzerine odaklandığı görülmektedir. Bu kısımda öncelikle döviz kuru üzerinde daha sonra hisse senedi piyasaları üzerinde ve son olarak da portföy seçimi üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır.

Neely vd. (1997), yabancı döviz kurları üzerinde genetik algoritmaların kullanımı ile teknik işlem kurallarının bulunması ve aşırı getiri imkanının araştırılması konusunu ele almışlardır. Bunların standart istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılması incelenmiştir. Veri olarak 1981-1995 döneminde bid-ask değerleri gün ortalamaları 6 kur için kullanılmıştır. Hareketli ortalama değerleri üzerinden teknik analiz sinyalleri değerlendirilerek bulunan kurallar ile pazarda aşırı (excess) getiri elde etmenin mümkün olduğu görülmüştür. Bulunan yönelim standart istatistiki yöntemlerle ortaya çıkarılamayacak şekildedir. Diğer yandan bu işlem stratejisinin sistematik riski telafi edecek bir seviyede olduğuna yönelik bir bulgu elde edilmemiştir.

Dempster ve Jones (2001), Teknik göstergelere dayalı bir sistematik ve kendini uyarlayan işlem sistematiği geliştirilmesini ve bu sistematik ile sürekli bir kazanç sağlanabilirliğinin test edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında GBP/ UDS (İngiliz Sterlini-Amerikan Doları Paritesi) gün içi verileri kullanılmıştır. Gün içi verilerde fiyat değişiminin olduğu andaki fiyat değeri (tick) alınmıştır. Bu verileri 7 teknik analiz göstergesi parametreleriyle kullanmışlardır. Daha önceki çalışmalarında teknik analiz göstergelerine dayalı stratejilerin kaybettirdiği ortaya çıksa da bu çalışmada görülmüştür ki bu göstergelerin kombinasyonu olarak karar stratejisi belirlenmesi durumunda kar fırsatları yakalanabilmektedir. Buna karşın küçük zaman aralıklarında (dakikalar gibi) pazarın likiditesi yeterli olmamakta ve bu sebeple en iyi strateji yine statik al-sat sinyallerinin değerlendirilmesi olmaktadır. Makalede 15 dakikalık statik göstergelere, bu göstergelere ek olarak günlük göstergelere, uyarlamalı optimizasyon, periyodik yeniden optimizasyon ve paralel optimizasyon şeklinde beş ayrı yöntem denenmiştir.

En sonuncu olan paralel optimizasyon yönünde süreçler geliştirildiğinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Neely ve Weller (2002), uluslararası döviz piyasasında döviz kuru volatilite tahmini problemi için uygulanan genetik programlamanın performansını ölçmeyi amaçlamıştır. USD/Alman Markı, USD/Japon Yeni günlük verileri 1975-1999 yılları arası dikkate alınmıştır. GARCH ve RiskMetrics ile genetik algoritmaların performansı karşılaştırılmıştır. Genetik programlama ile diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Diaz ve Alvarez (2003), çalışmalarında döviz kurlarındaki haftalık verilerin tahmin edilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışılan döviz kurlarının değişkenliğini yaklaşık olarak veren analitik bir fonksiyonun bulunması için genetik algoritmalardan faydalanılmaktadır. Euro, İngiliz Sterlini, Alman Markı, Japon Yeni, Fransız Frankı ve Kanada Dolarının Amerikan Dolarına göre paritelerinin haftalık verileri kullanılmıştır. Değerlendirmede rassal yürüyüş modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmada, GA tahmini yardımıyla bulunan matematiksel modelin rassal yürüyüş modelinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Chen ve Yeh (1997), Etkin pazar hipotezinin savunduğu, geçmiş verilere dayalı olarak geleceğin tahmin edilebilirliğin mümkün olmadığı hipotezine yeni bir yaklaşım sunmayı amaçlamıştır. Etkin pazar hipotezinde tahmin edilemezliğin testleri genelde doğrusal bağlantıların aranması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan bağlantıların varlığı ve buna bağlı olarak gelecekte bir getiri sağlamanın olasılığı bu çalışmada test edilmek istenmiştir. Bu noktada doğrusal olmayan bağlantıların incelenmesinde yeni yöntemlerden biri olarak genetik programlama yöntemi kullanılmıştır. Genetik programlama ile elde edilen yöntemin karşılaştırması için temel olarak rassal yürüyüş yöntemi gösterge olarak seçilmiştir. Tayvan ve A.B.D. hisse senedi piyasasında TAIEX ve S&P 500 endeksleri günlük getiri oranları kullanılmıştır. Getirilerin grafiksel çiziminde uç noktalar ve dönüş noktaları sinyal olarak algılanmış ve bu seviyelerin bazı değerlerle karşılaştırılması sinyal olarak kullanılmıştır. Doğrusal modeller rassal yürüyüş modeline göre daha iyi bir tahmin gerçekleştiremezken genetik programlama tabanlı araştırmanın ortaya çıkardığı modeller rassal yürüyüşe göre %50 daha fazla başarı sağlamıştır. Kısa dönem içerisinde doğrusal olmayan tahmin modellerinin geçerliliği varken bu modellerin ortaya çıkarılmasının maliyeti düşünüldüğünde karlı bir yaklaşım olmamaktadır. Buna bağlı olarak etkin pazar hipotezinin geçerliliğini koruduğu söylenmiştir.

Fyfe vd. (1999) çalışmalarında teknik analiz metotları ile aşırı getiri imkanının mevcut olup olmadığı sorusuna cevap aramışlardır. Bunun için Land Securities Plc. Şirketine ait nominal günlük fiyatlar kullanılmıştır. Bu fiyatlar üzerinde getiriler hesaplanmıştır. Standart yöntemler olarak AR, ARCH ve Rassal Yürüyüş modelleri kullanılmıştır. Genetik algoritma için ise

9 adet omuz-baş-omuz, çift tepe, çift dip, hareketli ortalama ve bunun varyasyonları olan teknik analiz araçları kullanılmıştır. Genetik algoritma ile aşırı getiri sağlayan al-tut stratejisi elde edilmiştir. Bunu sağlayan şey ise modelin zamanlama konusundaki başarısıdır. Diğer yandan modelin elde edilmesi karmaşık ve zor bir süreçtir ve makalede modelin tam anlamı ile değerlendirilmediği belirtilmiştir. Modeli daha iyiye götürmek için genetik algoritmalarda kullanılan uygunluk kriterinin yeniden gözden geçirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır.

Tsang vd. (2000), EDDIE (Evolutionary Dynamic Data Investment Evaluator) programı ile Genetik Karar Ağacı (Genetic Decision Tree) elde edilmesi ve bu karar ağacı ile normal üstünde fırsatların yakalanmasını test etmişlerdir. S&P 500, Dow Jones Endüstri Ortalaması, FTSE Endeksi, 10'ar adet A.B.D., İngiltere ve Avustralya hisse senedi piyasalarından seçilmiş hisse senetlerinden türetilmiş verileri kullanmışlardır. Verilerini seçilmiş teknik analiz göstergeleri ve hisseler için fiyat kazanç oranı ile değerlendirmişlerdir. Endeksler üzerinde ve bazı hisse senetleri üzerinde yönelimler (pattern) bulunmuştur. Bu yönelimlerin kendilerini yineleyeceği sorgusu teknik analizcilere ve bazı temel analizcilere bırakılmıştır. Parametrelerin belirlenmesinin önemli olduğu vurgulanmış, yöntemin finans hakkında bir şey bilmeyenlerin uygulayabileceği, otomatik olarak finansal karar çözümleri üreten bir araç olmadığı belirtilmiştir.

Latemendia (2002), çalışmasında var olan teknik analizlere dayalı stratejilerin üzerine genetik algoritmaların uygulamasının var olan yöntemlere göre fark yaratıp yaratmayacağını araştırmıştır. Madrid hisse senedi piyasasından 9 yıllık IBEX35 endeksi günlük kapanış fiyatları değerlerini, Exponensiyal ortalama değerleri, İşlem maliyetleri , M2 riske göre düzenlenmiş getiri endeksi ve RSI parametreleriyle kullanmıştır. Grafiksel yöntemlerle yapılan işlemlere göre genetik algoritmaların uygulaması küçük bir fark yaratırken risk konusunda daha iyi yaklaşımlar ortaya çıkarmıştır. Araştırmada dört model denenmiş ve bazı göstergelerin istenen durumu yakalama konusunda daha belirgin olduğu ortaya çıkmıştır.

Korczak ve Roger (2002), Bireysel hisse senedi alım satımlarında hangi teknik işlem (trading) kurallarının öneride bulunduğunun belirlenmesi amacıyla genetik algoritmalardan faydalanmıştır. Bazı hisse senetlerinin tahmin edilebilirliği daha kolay mıdır? Bazı işlem kuralları daha etkili midir? gibi sorulara cevap aranmıştır. Paris Hisse Senedi piyasasında CAC40 indeksindeki 40 hisse senedinden 24'ü analize dahil edilmiştir. 1997-1999 yılları arasındaki veriler açılış, kapanış, en düşük, en yüksek fiyat ve işlem hacmi dikkate alınmıştır. 10 teknik analiz göstergesi kullanılmıştır. Genetik olarak gelişen uzmanların al ve elde tut stratejisinden daha kullanışlı olduğu görülmüştür. Kısa süreli işlemlerde genetik algoritmaların çok güçlü bir araç olabileceği gösterilmiştir.

Şenel vd. (2004), finansal varlık değerlerinin tahmininde neuro-genetik algoritmaları kullanmışlardır. Gelecek dönemler için al ve sat sinyallerinin belirlenmesinde genetik algoritmalarla oluşturulan en iyi yapay sinir ağlarının ortalama çıktılarının alındığı sinir ağları grubu kullanılmıştır. Yazarlar, İMKB'den elde edilen verilerle oluşturdukları modelin kârlılığını karşılaştırmışlar. Boğa pazarı dışında sinir ağlarının temel aldığı işlem kuralları "al ve elde tut" ve "rassal yürüyüş" stratejilerine egemendir. Dönemde genel performanslara bakıldığında GA'larla train edilmiş sinir ağlarına bağlı işlem kurallarının yukarıda sözü edilen stratejilere göre kayda değer şekilde daha başarılı olduğu görülmüştür. Genetik algoritmalarla optimize edilmiş sinir ağlarının pazarda başarı yakalamak için rekabetçi bir üstünlüğe sahip avantaj sağlayıcı bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir.

Kim vd. (2004), çalışmalarında fuzzy genetik algoritma yöntemi ile çeşitli kaynaklardan elde ettikleri makine bilgisi, uzman bilgisi ve kullanıcı bilgisi gibi bilgilerin optimize edilmiş entegrasyonu için bir hibrid bilgi entegrasyon mekanizması önermektedirler. Teknik analiz göstergeleri kullanılarak fuzzy mantığı ve sinir ağları vasıtasıyla makine bilgisi derlenmiştir. Uzman ve kullanıcı bilgisinin derlenmesinde ise hisse senedi piyasasını etkilediği düşünülen dışsal faktörler incelenmiştir. Daha sonra makine, uzman ve kullanıcı bilgisi genetik algoritmalarla optimal ağırlıklandırılıp birleştirilerek ortak bir bilgi elde edilmiştir. Bu mekanizma ve 1982-1995 yılları arası 649 haftalık veri setini temel alan teknik göstergeler birlikte ele alınarak Kore hisse senedi fiyat endeksi tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

Samanta ve Bordoloi (2005), çalışmalarında Hindistan hisse senedi piyasası getirisinin tahmininde yapay sinir ağlarından ve yapay sinir ağlarının optimal yapısının bulunmasında genetik algoritmalardan faydalanmışlardır. BSE-Sensex, BSE-100 ve S&P CNX fifty gibi Hindistan'da bulunan alternatif hisse senedi fiyat endekslerinden ve bunların 1999-2000 yılları arası günlük getiri verilerini kullanarak elde ettikleri zaman serilerini genetik algoritma yoluyla en iyi yapay sinir ağları yapısının bulunmasında kullanmışlardır. Hisse senedi fiyat tahmininde AAE, RMSE ve Rbar-kare, hisse senedi fiyatı getiri tahmininde AAE, MAPE, RMSE, MSPE ve Rbar-kare göstergelerinden faydalanılarak yapay sinir ağları ve rassal yürüyüş performanslarının belirlenmesine çalışılmıştır. Genetik algoritmalarla yapılandırılan yapay sinir ağlarının rassal yürüyüşe göre daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Streichart vd. (2004), Klasik Markowitz mean –variance portföy seçimini getiri maksimizasyonu ve risk minimizasyonuna dayanırken varsayılan kısıtların sadece portföydeki varlıkların oranlarının toplamının bire eşit olması ve tümünün sıfırdan büyük olması (açığa satış durumu yoktur)

şeklinde belirtmişlerdir. Gerçekte gözardı edilmemesi gereken ise birincil ve ikincil kısıtlardır. Birincil kısıtlar:

Kardinallik kısıtı: Portföydeki toplam varlık sayısının kısıtlı olması gerektiğidir.

Satın alma alt limiti (buy-in threshold): Eğer bir varlık portföye alınacaksa bunun belli bir seviyenin üstünde olması gerekliliği

Lot yuvarlaması (Roundlots): Alınmak istenen bir varlığın alım için mümkün olan en küçük parça biriminin tam sayı katları şeklinde alım yapılabilir.

Birincil kısıtların zorlanamayacağı düşünülürken endüstri kısıtı, süre kısıtı ve vergilendirme politikası kısıtları gibi ikincil kısıtlar portföy seçimi modellerinde göz ardı edilebilir. Birincil kısıtların markowitz'in portföy seçimi modeline katılması ile modelin kuadratik çözümlemesi mümkün olmamaktadır. Genelleştirilmiş Evrimsel Algoritmalar ile çözümünde ise çözüm hybrid kodlama ve üç farklı çaprazlama yöntemi katılarak klasik çözümle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için http://mscmga.ms.ic.ac.uk/info.html adresinden alınan 31 varlık için Heng Seng veri seti kullanılmıştır.

Akay vd. (2002), kısıtlara sahip portföy seçimi probleminin çözümü için bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Karar destek sisteminin geliştirilmesinde genetik algoritmaları kullanmışlardır. Çalışmada teknik göstergelerden de faydalanılarak karar vericinin risk ve getiri kriterlerine uygun portföyleri kolay bir şekilde oluşturulabileceği gösterilmiştir. Oluşturulan modelde yalnız aşırı alım ve aşırı satım bölgelerinin tespiti ile elde edilen portföyün güvenilirliğinin arttırılması için kısa vadede hareket eden William's %R teknik göstergesi kullanılmıştır.

Subramanian vd. (2004), portföy seçiminde genetik algoritmaların kullanımını göstermek amacıyla yaptıkları çalışmada Hindistan'ın 1999-2003 yılları arasındaki 4 yıllık CMIE-BSE-100 ve BSE Sensex hisse senedi verilerinden faydalanmışlardır. Modellerinde Markovitz'in risk-getiri yaklaşımına bağlayarak 0.1, 0.5 ve 0.9 risk seviyeleri için test etmişlerdir. Böylelikle istenilen dönem için uygunluk değerinin ulaştığı en iyi değer alınarak yatırım portföyünü seçmişlerdir.

SONUÇ

Yapay zekanın alt bileşenleri; genetik algoritmalar, robotlar (robotics), benzetimli tavlama (simulated annealing), uzman sistemler, bilgisayarlı görme (computer vision), konuşma tanıma (speech recognition), yapay sinir ağları gibi alanlardan oluşur. Son yıllarda özellikle genetik algoritmlar ve yapay sinir ağlarının finansal uygulamalarda sıklıkla kullanılır oldukları

gözlemlenmektedir. Bu iki yöntem çalışmalarda ayrı ayrı kullanıldığı gibi bazı çalışmalarda yapay sinir ağlarının train edilmesinde genetik algoritmalardan faydanıldığı da görülmektedir.

Bu çalışmada genetik algoritmalar ve genetik algoritmaların finans alanındaki uygulamalarını görmek amacıyla bir yazın taraması ile inceleme yapılmıştır. Finansal uygulamalarda genetik algoritmaların kullanımının işletme finansı ile finansal piyasa sistemleri ve finansal ekonomi alanlarında yoğunlaştığı görülmüştür. İşletme finansı ile ilgili çalışmalar; iflas tahminleri ve kredi derecelendirme üzerine odaklanırken, finansal piyasa sistemleri ve finansal ekonomi ile ilgili çalışmalar; yapay hisse senedi piyasaları ve piyasaların etkinliğe ulaşma sürecinin incelenmesi üzerine, döviz kuru ve hisse senedi piyasası üzerine ve portföy seçim problemleri üzerine odaklanmaktadır. Genetik algoritmaların gücü, çok sayıda yapısal düzenlemeye yönelik bilgiyi hesaplama ve depolama yığınlarına girmeden işleyerek optimale yakın sonuçlar verebilmesinden kaynaklanmaktadır (Grefenstette vd., 1993; Bauer, 1994: 53).

Genetik algoritmalar içerisinde işlenecek konu bilgisi dışında (bu çalışmada finans olmaktadır) analitik ve bilişim uygulamaları bilgisine de ihtiyaç duymaktadır. Bu yapısıyla algoritma çok disiplinli bir yaklaşımdır. Yapılan yazın taramasında özellikle yazılımı kendileri tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda araştırmacıların bu disiplinlerden biri yada birden fazlasının alt yapısına sahip oldukları görülmüştür. Bu sebeple ele alınan çalışmaların birçoğunun birden fazla araştırmacı tarafından gerçekleştirildiği dikkati çekmiştir.

KAYNAKÇA

AKAY, D., ÇETİNYOKUŞ, T. ve DAĞDEVİREN, M. (2002) Portföy Seçimi Problemi İçin KDS/GA Yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 125-138.

ALTMAN, E., HALDEMAN, R.G. ve NARAYANAN, P. (1977) ZETA Analysis: A New Model to Identify Banktrupcy Risk of Corporations, *The Journal of Banking and Finance,* 23(3), 589-609.

ARTHUR, W.B. (1993) On the Evolution of Complexity, *Working Paper*, 93-11-070, Santa Fe Institue, Santa Fe, N.M.

ARTHUR, W. B., HOLLAND, J. H., LEBORAN, B., PALMER, R. ve TAYLER, P. (1997). Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market / W. B. Arthur, D. Lane, and S. N. Durlauf, (eds.), *The Economy as an Evolving, Complex System II* içinde, Menlo Park: Addison-Wesley. Also published as Santa Fe Institute Paper 96-12-093.

BACK.,T., FOGEL, D.B. ve MICHALEWICH, T. (2000) *Evolutionary Computation 1: Basic Algorithms and Operators,* Institute of Physics Publishing , Bristol and Philadelphia.

BAUER, R.J.Jr. (1994) *Genetic Algorithms and Investment Strategies*, John Wiley & Sons, USA.

BINGUL, Z., SEKMEN, A.S., PALANIAPPAN, S. ve SABATTP, S. (2000) Genetic Algorithms Applied to Real Time Multiobjective Optimization Problems*, Proceedings of the 2000 IEEE SoutheastCon Conference*, 95-103.

CHEN, S.H. (2001) On the Relevance of Genetic Programming to Evolutionary Economics, *Evolutionary Controversies in Economics: A New Transdisciplinary Approach* içinde, Springer Science.

CHEN, S.H. ve YEH, C.H. (1997) Toward a Computable Approach to the Efficient Market Hypothesis: An Application of Genetic Programming*, Journal of Economic Dynamics and Control*, 21, 1043-1063.

CHEN, S.H. ve YEH, C.H. (1999) Genetic Programming in the Agent-Based Modeling of Stock Markets, *The Fifth International Conference of the Society for Computational Economics (CEF'99)*, USA.

DAVIS, L. (1994) Genetic Algorithms and Financial Applications. /Deboeck GJ. (ed) *Trading on the Edge*. Wiley, New York, 133–147.

DEMPSTER, M.A.H. ve JONES, C.M. (2001) A Real-time Adaptive Trading System Using Genetic Programming, *Quantative Finance*, 1, 397-413.

DESAI, V.S., CONVAY D.G., CROOK, J.N. ve OVERSTREET, G.A. (1997) Credit Scoring Models in the Credit Union Environment Using Neural Networks and Genetic Algorithms, *IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry*, 8, 323-346.

DIAZ, M.A. ve ALVAREZ, A. (2003) Forecasting Exchange Rates Using Genetic Algorithms, *Applied Economics Letters*, 10, 319-322.

FELDMAN, K. ve TRELEAVEN, P. (1994) Intelligent Systems in Finance, *Applied Mathematical Finance,* 1, 195-207.

FYFE, C., MARNEY, J.P. ve TARBERT, H.F.E. (1999) Technical Analysis Versus Market Efficiency – A Genetic Programming Approach, *Applied Financial Economics*, 9, 183-191.

GOLDBERG, D.E. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, USA.

GÖZÜTOK, S. ve ÖZDEMİR, O.N. (2004) Genetik Algoritma Yöntemi ile Su Şebekelerinde Hidrolik Kalibrasyonun Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 125-130,

GREFENSTETTE, J.J., JONG, K.A.D., ve WILLIAM, M.S. (1993) *Competition-based Learning, Foundation of Knowledge Acqusition: Machine Learning*, A. Meyrowitz (Edt), Kluwer Academic Publishers.

GROSSMAN, S. & STIGLITZ, J. (1980), On the Impossibility of Informationally Efficient Markets, *American Economic Review* 70, 393–408.

HARRALD, P. (1998), Economics and Evolution, *The panel paper given at the Seventh International Conference on Evolutionary Programming,* March 25-27, San Diego, A.B.D.

HOLLAND, J.H. (1975) *Adaptation in Natural and Artifical Systems,* The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

HOLLAND, J.H., HOLYOAK, K.J, NISBETT, R.E. ve THAGARD, P.R. (1987) *Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery*, Cambridge, MA: MIT Press.

HOLLAND, J.H. (1992) *Adaptation in Natural and Artifical Systems, An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence (2nd ed)*, Cambridge, MA, MIT Press.

http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/evrim.pdf

JOSHİ, S., PARKER, J. & BEDAU, M. A. (2000), Technical Trading Creates a Prisoner's Dilema: Results From an Agent-Based Model, *Computational Finance 99*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 465–479.

KAHRAMAN, M. ve ÖZDAĞLAR, D. (2004) Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 6(3), 1-18.

KAUFMAN, S.A. (1993) *The Origins of Order: Self Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press.

KIM, M.J., HAN, I. ve LEE, K.C. (2004) Hybrid Knowledge Integration Using the Fuzzy Genetic Algorithm: Prediction of the Korea Stock Price Index, ıntelligent Systems in Accounting, Finance and Management, 12(1), 43-60.

KINGDON, J. VE FELDMAN, K. (1995) Genetic Algorithms and Aplications to Finance, *Applied Mathematical Finance*, 2(2), 89-116.

KORCZAK, J. ve ROGER, P. (2002) Stock Timing Using Genetic Algorithms, *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 18, 121-134.

KIYOTAKI N. ve WRIGHT R. (1989) On Money as a Medium of Exchange. *Journal of Political Economy* 97:927-954.

LATEMENDIA, L.N. (2002) Trading Systems Designed by Genetic Algorithms , *Managerial Finance*, 28(8), 87-100.

LEBARON, B., ARTHUR, W. B. & PALMER, R. (1999). Time Series Properties of an Artificial Stock Market, *Journal of Economic Dynamics & Control,* 23, 1487-1516, Sep 1999

LEBARON, B. (2005), Agent-based computational finance, *Working Paper, Brandeis University*

LEINWEBER, D.J. ve ARNOTT, R.D. (1995) Quantative and Computational Innovation in Investment Management , *The Journal of Portfolio Management*, 21, 8-15.

LENARD, M.J, MADEY, G.R. ve ALAM, P. (1998) The Design and Validation of a Hybrid Information System for the Auditor's Going Corcern Decision, *Management Information Systems*, 14(4), 219-237.

LUCAS, R. (1986) Adaptive Behaviour and Economic Theory, *Hogarth R., Reder M. (editors), Rational Choice: The Contrast Between Economics and Psychology*, University of Chicago Press, 217-242.

MARIMON, R. MCGRATTAN, E. ve SARGENT, T. (1990) Money as Medium of Exchange in an Economy with Artificially Intelligent Agents. *Journal of Economic Dynamics and Control* 14, pp 329-373.

MARKOSE, S. (2002) The New Evolutionary Computational Paradigm Of Complex Adaptive Systems: Challenges And Prospects For Economics And Finance, *S-H. Chen (editor), Genetic Algorithms and Programming in Computational Finance*, Kluwer Series in Computational Finance, 443-484.

NANDA, S. ve PENDHARKAR, P. (2001) Linear Models for Minimizing Misclassification Costs in Bankruptcy Prediction, *International Journal of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management, 155-169*.

NEELY, C. ve WELLER, P. (2002) Predicting Exchange Rate Volatility: Genetic Programming Versus GARCH and RiskMetrics, *Review (FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS)*, 43-54.

NEELY, C., WELLER, P. ve DITTMAR, R. (1997) Is Technical Analysis in the Foreigne Exchange Market Profitable? A Genetic Programming Approach*, Journal of Financial and Quantative Analysis,* 32(4), 405-426.

ÖZCAN, E. ve ALKAN, A. (2002) Çok Nüfuslu Karalı Hal Genetik Algoritması Kullanarak Otomatik Çizelgeleme, *TBD 19. Bilişim Kurultayı*, 149-155.

PALMER, R., ARTHUR, W., HOLLAND, J., LEBARON, B. ve TAYLOR, P. (1994) Artificial Economic Life: A Simple Model of a Stockmarket. *Physica* D 75, 264-274.

SAMANTA, G.P. ve BORDOLOI, S. (2005) Predicting Stock Market- an Application of Artificial Neurol Network Technique through Genetic Algorithm, *Finance India,* 19(1), 173-188.

STREICHERT, F., ULMER H., ZELLL, A. (2004) Evaluating Hybrid Encoding and Three Crossover Operators on the Constrained Portfolio Selection Problem, *Proceedings, Congress on Evolutionary Computation*, 932-939.

SUBRAMANIAN, S., VENUGOPAL, M.S. Ve RAO, U.S. (2004) Usefulness of Genetıc Algorıthm Model for Dynamıc Portfolıo Selectıon, *Journal of Financial Management and Analysis*, 17(1), 45-53.

ŞENEL, K., ALKAN, A. ve ÇELEBİ, S. (2004) Usıng Neuro-Genetıc Algorıthms for Prediction of Financial Asset Prices: Evidence from the Istanbul Stock Exchange, *IJSIT Lecture Notes of 1st International Conference on Informatics,* 1(2), 152-159.

THOMAS, L.C. (2002) Consumer Credit Modelling: Context and Current Issues, School of Management, *Working Paper , University of Southampton, Southampton, UK*

UÇANER, M.E. ve ÖZDEMİR, O.N. (2002) Genetik Algoritmalar İle İçme Suyu Şebekelerinde Ek Klorlama Optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), 157-170.

TSANG, E.P.K., LI, J., MARKOSE, S., ER, H., SALHI, A. ve IORI, G. (2000) EDDIE in Financial Decision Making, *Journal of Management and Economics,* http://www.econ.uba.ar/www/servicos/publicaciones/journal3/index.htm.

VARETTO, F. (1998) Genetic Algorithms Applications in the Analysis of Insolvency Risk, *Journal of Banking and Finance,* 22, 1421-1439