

# Yapay Zeka ve Bilim Felsefesi\*

Şakir KOCABAŞ\*\*

## ÖZET

Bilimsel buluşlar üzerine yapay zekada yapılan yeni araştırmalar bilim konusunda daha önce gözardı edilmiş olan bir dizi önemli hususu ortaya çıkarmıştır. Yapay zekacı bilim adamları tarafından bilim tarihindeki buluşların farklı yönlerini araştırmak üzere geliştirilen bir dizi bilgisayar modeli, hipotez oluşturma, hipotez testi ve değerlendirmesi bilimsel araştırma faaliyetinin sadece küçük bir parçasıdır. Bu çalışma yapay zeka açısından, bilimsel yaratıcılık, bilimsel araştırmanın süreçleri, bilimsel araştırmanın boyutları ve bilginin araştırmadaki rolünü incelemektedir.

\* 11-12 Kasım 1996'da İstanbul'da düzenlenen Third Meeting of Istanbul-Vienna Philosophical Circle / Drittes Symposium der Philosophischer Kreis Wien-Istanbul / İstanbul-Viyana Felsefe Çevresi III. Sempozyumu'nda sunulan ve *Artificial Intelligence, Language and Thought / Künstliche Intelligenz, Sprache und Denken / Yapay Zeka, Dil ve Düşünce* isimli kitapta (ed. Erwin Lucius - Şafak Ural, İstanbul: The ISIS Press, 1999, s. 139-150) yayınlanan bu tebliğ burada yayıncı The ISIS Press'in izniyle alıntılanmıştır. Kendilerine teşekkür ediyoruz.

\*\* Doç. Dr. İstanbul Teknik Üniversitesi.

## Giriş

BİLİMSEL BULUŞLAR VE YARATICILIK SON on-beş yıldır yapay zekanın (YZ) özel bir ilgi alanını oluşturmaktadır. Bu süre içinde bilimsel buluşlar konusunda bir dizi araştırma makalesi ve iki önemli kitap yayınlanmıştır (bkz. Langley, Simon, Bradshaw ve Zytkow, 1987; Shrager ve Langley, 1990). Bu konuyla yakından ilgili olarak başka bazı yayınlar da çıkmıştır. Bunlardan biri bilgisayarlı bilim felsefesi konusunda (Thagard, 1988), biri bilimde teori yenileme üzerine (Darden, 1991), ve bir diğeri de yaratıcılık konusundadır (Boden, 1990).

Langley vd.nin (1987) eseri, bilimsel buluşların ve dolayısıyla bilimsel yaratıcılığın bir dizi süreçlerle açıklanabileceğini öne sürerek bunların esrarengiz ve açıklanamaz olduğu konusundaki yerleşik anlayışa ilk ciddi karşı çıkış oldu. Bu eser aynı zamanda bu yazarların görüşlerini destekleyici bilgisayar modellerini de tasvir etmektedir. Shrager ve Langley'in (1990) sonraki eseri ise bilimsel teori geliştirmenin incelenmesi için yeni bazı metotlar ortaya koymakta ve bilgisayarlı bilim çalışmasının geleneksel felsefi çalışmalarından neden üstün olduğunu açıklamaktadır. Öte yandan, Boden'in (1990) eseri ise bu geliştirilen görüşleri kognitif bilimci açısından genişleterek, yalnız bilimde değil, sanat ve edebiyatta da yaratıcılığın bilgisayarlı bir çalışma çerçevesinde daha sistemli olarak nasıl incelenebileceğini tartışmaktadır.

Ancak, önceki çalışmalar buluşlarla ilgili, bilimsel araştırmanın unsurları, bilimsel buluş ve yaratıcılık türleri ve bilimsel araştırmanın boyutları gibi bazı önemli hususları açık bırakmıştır.

Bu çalışmada biz, yaratıcılığın temel kognitif kavramlarını ele alıp bunların nasıl birbirleriyle bağlantılı olduğunu inceleyeceğiz, ve sonra da bilimsel araştırmada arka plan bilgisinin rolünü ve bilimsel buluşlar için gerekli bilgi türlerinin neler olduğunu tartışacağız. Son olarak da bilimsel buluş türleri ve bilimsel araştırmanın unsurlarını tartışacağız ve çalışmamızı bir özetle tamamlayacağız.

Yaratıcılık ve zeka bağlantılı kavramlardır, o kadar ki birini açıklığa kavuşturacak bir teşebbüs diğeri tarifte kolaylık sağlayacaktır. YZ bilim adamları yaptıkları tarifleri bilgisayar terimlerine da-

yandırırılar. Lenat ve Feigenbaum (1987) zekayı “arama” kavramı üzerinden şöyle tarif etmiştir: Zeka, geniş bir arama alanına sahip bir problemi çözebilme yetisidir. Feigenbaum daha sonra zekayı “arama” yerine “bilgi birleştirme” kavramı üzerinden tarif etmiştir (bkz. Engelmöre ve Morgan, 1988, vii). Bu tarife göre zeki bir sistem karmaşık bir görevi ifa edebilmek için gerekli bilgileri birleştirebilen bir sistemdir.

Ne var ki bu tarifler zeka kavramının karmaşıklığını yeteri kadar yansıtmamaktadır. Daha ayrıntılı bir tarif Hayes-Roth (1993) tarafından zeki etmenler çerçevesinde verilmiştir, ki yazar zekayı üç sistem bileşeni vasıtasıyla tanımlamaktadır: algılama, düşünme ve eylem. Burada her üç bileşen de birbirinden bağımsız fakat birbiriyle uyum içinde çalışabilmelidir. Buna ilave olarak, “zeki” sayılabilmesi için her bir bileşenin bir dizi kıstası karşılaması gerekmektedir. Bu kıstaslara göre, zeki bir sistem gerçek zamanda, eşzamansız olarak, seçmeli, uyumlu, esnek, etkileşimci, gürbüz ve zamanlı olarak algılama, düşünme ve eylem yapabilmelidir. Zeki bir sistem aynı zamanda uyum ve öğrenme ile yetilerini geliştirebilmelidir. Birçok ZY bilim adamı öğrenmeyi sembolik ve altsembolik olmak üzere iki düzeyde ele alırlar ve sembol düzeyi öğrenmeyi de ezberleme, yönergeyle öğrenme, tümevarım yoluyla öğrenme, tümdengelim yoluyla öğrenme ve benzerlik yoluyla öğrenme olmak üzere birkaç sınıfa ayırırlar.

Yaratıcılık farklı türler altında sınıflandırılabilir. Bilimsel yaratıcılıkla diğer yaratıcılık türleri (sanatta, mimaride, müzik ve edebiyatta söz konusu olan yaratıcılık) arasında bir ayırım yapılabilir. Bilimsel yaratıcılık aşırı derecede arka plan bilgisine ve tecrübeye dayanır.

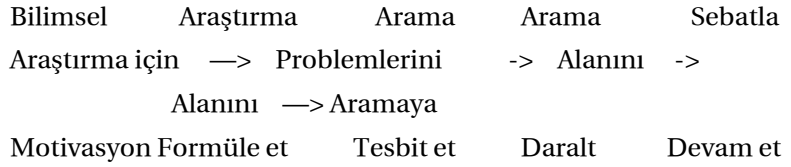
Bu ise tarihte yaratıcı bilim alanında, neden müzik ve sanatta olduğu gibi harika çocukların bulunmadığını açıklayabilir. Bilimsel yaratıcılıktan bahsederken bunun böyle bir çerçevede anlaşılması gerekmektedir.

Bilimsel yaratıcılık beş temel kognitif ve bilgisayar kavramı açısından incelenebilir.

1. Bilimsel araştırma için motivasyon.
2. Bir bilgi alanındaki problemleri doğru ifade edebilme yetisi.
3. Bir bilimsel problemin çözümü için kapsamlı bir arama alanı çizebilme yetisi.

4. Bu arama alanını daraltacak kuralları bir araya getirme veya çıkarımlama yetisi.
5. Tesbit edilen arama alanında problemin çözümüne ulaşın-  
caya kadar sabır ve sebatla çalışma.

Şekil 1 bu kavramlar arasındaki bağıntıları özetlemektedir. Bun-  
lar arasındaki bağlarda bir kopukluk bilimsel araştırmayı engelle-  
yebilir.



Şekil 1. Bilimsel buluşlarda problemin doğru ifade edilmesi ve arama.

Yukarıdaki listede belirtildiği gibi, araştırma motivasyonu bilim-  
sel yaratıcılık için gerekli şartların en başında yer alır. Motivasyon  
temel psikolojik ihtiyaçlara bağlı olabilir. İnsan motivasyonları  
üzerine çeşitli psikologlar tarafından son elli yılda birçok araş-  
tırmalar yapılmıştır (mesela bkz. Maslow, 1966). Âlem hakkında  
metafizik eğilimler ve ontolojik varsayımların da bilimsel motivas-  
yonu etkileyebileceği öne sürülmektedir (bkz. Kuhn, 1970, p. 41).  
Bu konu önemli olmakla birlikte şimdiki çalışmamızın çerçevesi  
dışında kalmaktadır.

Problemlerin açık bir şekilde formüle edilmesi de bilimsel araş-  
tırmada önemli bir husustur. Modern bilimsel araştırmada, bilim-  
sel problemlerin doğru formüle edilebilmesi için geniş ve sistemat-  
tik bir bilgi kaynağına ihtiyaç vardır. Bir bilim alanında araştırma  
problemlerinin doğru formüle edilebilmesi, o bilim alanındaki  
kavramların yapısı hakkında derin bir vukuf gerektirir. Yaratıcı  
bilim adamı, araştırma problemini yeniden formüle etmede bir  
kavramsal yapıyı değiştirebilir ve kendi çözümü arar. Bazı durum-  
larda, kavramsal yapıda meydana getirilen değişiklikler, fizikte za-  
man ve ölçülebilirlik kavramlarında olduğu gibi, en temel kavram  
ve prensipler üzerinde olabilir. Problem gösterimini değiştirme ise,  
problem alanına alternatif bir bakış açısı sağlayabilir. Bu ise bilim-

de yaratıcılığın en etkili parametrelerinden biri olarak görülmektedir (bkz. Simon 1992; Karmiloff-Smith, 1990).

Seçilen bir araştırma problemi için kapsamlı bir arama alanı meydana getirmek için geniş bir bilgi kaynağı gerekebilir. Bu arama alanı daha sonra, uygun arama stratejileri, metot ve kurallarının seçilip kullanılmasıyla daha elverişli bir boyuta indirgenebilir. Bu, mevcut kaynak ve zaman sınırı içinde bir çözüme ulaşabilmek için gereklidir. Bir kere problem tesbit edilip sınırları çizildiğinde, bilimsel problemin çözümü yolunda bir sonuca varıncaya kadar ısrarla aramaya devam edilmelidir. Bilimsel yaratıcılık kendisini bu bir dizi araştırma görevinin yerine getirilmesi sırasında gösterir. Her bir görev sırasında değişik bilgi türleri kullanılması gerekecektir.

### **Araştırmada Kullanılan Bilgi Türleri, Bilimsel Buluş Türleri**

Modern bilimsel araştırmalar, değişik türden genel ve özel bilgilerin kullanıldığı en karmaşık insan faaliyetlerini ihtiva ederler. Modern bilimsel araştırmalar için gerekli bilgiler dört sınıf altında toplanabilir: a) Sağduyu bilgileri, b) Teknik bilgiler, c) Teorik bilgiler, ve d) Metodolojik bilgiler.<sup>1</sup>

Sağduyu bilgileri dünya hakkında genel ve nisbeten yapılandırılmamış bilgilerdir. Teknik bilgiler, aygıt kullanımı, metot ve süreçler hakkındaki bilgilerdir. Teorik bilgiler bur tür bilgilerin kazanılması için faydalı fakat her zaman gerekli olmayan bilgi türleridir. Teknik bilgiler tasvirî ve yordamsal olabilirler.

Teorik bilgiler dünya hakkında birbirine bağlı birçok sınıflandırma ve hipotezi ihtiva eden sistematik, tasvirî bilgilerdir. Teorik bilgilere tipik örnekler Klasik Mekanik ve Elektro-magnetizmdir.

Metodolojik bilgiler ise şart-eylem kuralları şeklinde ifade edebilen yordamsal bilgilerdir. Metodolojik bilgiler bilimsel açıdan ilginç olan ve olmayan olayları ayırmada, araştırmada alternatif amaçlardan birinin ve bunun çözümü için gerekli strateji ve metotların seçiminde, deneylerin tasarlanmasında ve uygulanmasında, deney sonuçlarından yeni hipotezlerin çıkarılmasında, ve bunların

1 Bilimsel araştırma süreçlerinde kullanılan bilgiler burada verdiğimiz dört sınıf ile sınırlı değildir. Başka bilgi türleri de bilimsel araştırmada rol oynayabilir, mesela, parçacık fiziği tarihinde kuvark teorisinde olduğu gibi sembolik dini bilgiler.

nasıl genelleştirilmesinde, test ve değerlendirilmesinde kullanılan bilgilerdir. Bir bilim adamını diğer insanlardan ayıran en mümeyyiz bilgi türü budur.

Mantıksal çıkarımlara dayanan teorik bilgilerden farklı olarak, metodolojik bilgiler indüktif genelleme, soyutlama, ters dedüksiyon (retroduction) ve analogi gibi mantık ötesi çıkarımları fazlaca kullanır. Bilimsel araştırma faaliyeti sırasında metodolojik kurallar problem durumlarının formüle edilmesinde, geniş arama alanlarının daraltılmasında, ve hipotez oluşturmada sıkça kullanılırlar.

Bilimsel yaratıcılık, buluşun yapıldığı araştırma alanının mahiyetine uygun olarak incelenebilir. Kocabaş (1992c) bilimsel buluşlarla ilgili şöyle bir sınıflandırma önermiştir: 1) Mantıksal-Matematiksel buluşlar, 2) Formel buluşlar, 3) Teorik buluşlar, ve 4) Ampirik buluşlar. Bu sınıflandırma Kocabaş (1992a) tarafından önerilen tasvirî bilginin kategorizasyonuna dayanmaktadır ve bilimsel araştırmada kullanılan ve buluşla ortaya çıkan bilgi türlerini yansıtmaktadır. Bütün bu buluş türleri yapay zekada bir dizi bilgisayar modelleri vasıtasıyla incelenmiştir.

Bu sınıflandırmaya göre mantıksal-matematiksel buluşlar, isminden de anlaşılacağı gibi, mantık ve matematiğin soyut alanlarında vuku bulur. Mantıksal-matematiksel buluşların en mümeyyiz vasfı, prensip olarak bunların deney ve gözleme ihtiyaç göstermemesidir. Bunlar aynı şekilde -ancak bazı durumlarda-analojik çağrışımlar dışında, kendi başına fiziksel bir alan bilgisini de gerektirmezler.

Formel buluşlar soyut birimleri, bunların sınıf ve özelliklerinin ifade edildiği formel bir alanda vuku bulur. Formel buluşlar, formel bilgiler üzerinde dedüktif çıkarımlar için mantıksal-matematiksel bilgiyi gerektirir.

Teorik buluşlar mantıksal-matematiksel, formel ve teorik bilgiyi gerektirir, ve teorik analiz ve sentezler sonucu ortaya çıkar. Bilim tarihinde Maxwell'in denklemleri ve Einstein-Lorenz dönüşümleri gibi oldukça önemli teorik buluşlar vardır.

Ampirik buluşlar mantık-matematiksel ve formel bilgi yanında deneysel ve gözlemsel verileri de gerektirir. Önceki ampirik buluşlar sırasında (mesela 17. ve 18. yüzyıl kimyasında) teorik bilgiler pek gerekli olmamıştır, fakat modern ampirik araştırmalarda (oksit süper iletkenlik ve füzyon deneyleri gibi alanlarda) geniş ölçüde teorik alan bilgisi gerekmektedir.

## Bilgisayarlı Buluş Modelleri

Yukarıda anlatılan buluş türlerine paralel olarak, yapay zekacı bilim adamlarının geliştirmiş olduğu buluş modelleri de aynı şekilde sınıflandırılabilir: Mantık-matematiksel Modeller, Formel Modeller, Ampirik Modeller, ve Teorik Modeller.

Yapay zekada geliştirilen ilk sistemlerden bazıları (mesela Logic Theorist) mantıkta teorem ispatlama için geliştirilmiş mantık-matematiksel buluş modelleri idi. Nisbeten daha yeni buluş modellerinde Automated Mathematician (Lenat, 1979) matematiksel buluşlar için en önde gelen bir örnektir.

Lenat'ın (1983) EURISKO sistemi ise Naval Fleet Design oyunu ile Evrim ve 3- boyutlu devre tasarımı alanlarındaki uygulamaları açısından formel buluş sistemlerine tipik bir örnek olarak gösterilebilir.

Teorik buluş modellerine örnek olarak PI (Thagard ve Holyoak, 1985), ECHO (Thagard ve Novak, 1994) ve GALILEO (Zytkow, 1990) ve PAULI'yi (Valdez-Perez, 1994) gösterebiliriz. Bunlardan ilk ikisi daha çok kavramsal buluş modelleri olarak vasıflandırılabilir ki, bu durum da formel buluş modellerine daha yakın olarak görülebilir. Öte yandan GALILEO sistemi, bilimsel yasaların daha kullanışlı formlarını bulması dolayısıyla teorik analiz yoluyla buluşlara ilginç bir örnek olarak gösterilebilir. PAULI sistemi ise fizikte elementer parçacıkların kuvantum özellikleri ile ilgili genel bir teorem bulmuş olan bir başka ilginç sistemdir.

Ampirik buluşlar yapay zekada geniş ölçüde araştırılmış bir alandır ve bu alandaki buluşların değişik yönlerini inceleyen bir dizi bilgisayarlı model geliştirilmiştir. Ampirik buluş sistemleri, kalitatif ve kantitatif (niteliksel ve niceliksel) modeller olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılırlar. Kalitatif sistemler arasında GLAUBER (Langler ve diğerleri, 1987) 17. yüzyılda asit-baz teorisinin bulunuşunu modellendirmektedir. STAHL (Zytkow ve Simon, 1986) ve STAHL (Rose ve Langley, 1986) 18. yüzyıl kimyasında kimyasal bileşiklerin bileşenlerinin bulunmasını modellendirmektedir. Bunlardan STAHL aynı zamanda flojiston teorisinden oksijen teorisine geçişteki paradigma değişikliğini de kısmen modellendirmektedir. AbE (O'Rorke, Morris ve Schnlenburg) sistemi flojiston teorisinden oksijen teorisine geçişi daha ayrıntılı bir şekilde modellendirmektedir. Bu sistem ayrıca bu süreçte ters çıkarımın (abductive inference) rolünü de göstermektedir. KEKADA (Kulkarni ve Simon, 1988)

biyokimyada 1930'larda Krebs'in üre çevrimini buluşunu modellendirmektedir. Bu sistem bu süreçte birkaç arama alanı tanımlamaktadır. COAST (Rajamoney, 1990) sistemi ise fiziksel sistemleri "senaryolar" olarak ele alır ve teori yenilemeyi kalitatif şemalar (Forbus, 1984) üzerinde adım-adım değişiklikler olarak belirler.

Bunlardan başka BR-3 (Kocabaş, 1991) ve BR-4 (Kocabaş ve Langley, 1995) elementer parçacıkların kuvantum özellikleri ile ilgili birkaç sakınım yasasını bulabilmektedir. İkinci sistem ayrıca parçacık fiziğinde nötrino'nun bulunuşunu da modellendirmektedir. Çelişkili çözüm durumlarıyla karşılaştıklarında her iki sistem de kendi alan bilgisini (teorisini) adım adım değiştirebilmekte ve böylece tutarlı bir teoriye ulaşabilmektedir. PAULI (Valdez-Perez 1994) sistemi ise bazı tür buluş problemlerini iki arama alanında matris işlemleri olarak ele almaktadır. Bu sistem bu şekilde BR-3'ün ulaştığı sonuçları çıkartabilmekte, hatta alternatif çözümler de üretebilmektedir. PAULI sistemi ayrıca parçacık fiziğinde genel bir teorem de bulmuştur, fakat bu teoremin ne derece geçerli olduğu tartışma konusudur. MECHEM (Valdez-Perez, 1995) katalitik kimyada bugünkü kimyacıların bildikleri dışında alternatif reaksiyon mekanizmaları bulmuştur.

Kantitatif buluş modelleri arasında BACON (Langley ve diğerleri, 1987), FAHRENHETT (Zytkow, 1987) ve IDS (Nordhausen ve Langley, 1987) önde gelen örnekler olarak sayılabilir. BACON, ilk başarılı kantitatif buluş modeli idi ki bu sistem aynı zamanda bilim felsefecilerinin de ilgisini çekmişti.<sup>2</sup> IDS sistemi ise kalitatif ve kantitatif metotları birleştiren ilk modellerden biri sayılabilir.

### Bilimsel Araştırmanın Özellikleri

Bilgisayarlı bilim çalışmaları göstermektedir ki bilim felsefesi, kendi tarihi içinde bilimin bir dizi önemli tarafını gözardı etmiştir. Bilgisayarlı bilim çalışması ile konvansiyonel bilim felsefesi arasındaki farklar Shrager ve Langley (1990) tarafından şöyle özetlenmektedir: Konvansiyonel felsefi gelenek bilimsel bilginin yapısı üzerinde durur ve bilim yasaları ve teorilerin değerlendirilmesi üzerinde ilgiyi yoğunlaştırır. Halbuki bilgisayarlı yaklaşım bilimsel düşünce

2 Bkz. *Social Studies of Science* özel sayısı (Vol. 19, Sayı 4).



süreçleri üzerinde durur ve veri değerlendirme, teori oluşturma ve deneylerle birlikte bilimsel buluşları ön plana çıkarır.

Aslında bu farklılık daha da genişletilebilir: Bilgisayarlı bilim çalışması sadece teori oluşturma, sınama ve sağlama ile ilgili konular üzerinde değil, aynı zamanda bir dizi diğer hususla da ilgilenir. Kocabaş (1992b), bilimsel araştırma sırasında karşılaşılan birbirinden farklı, bir düzineden fazla faaliyeti sıralamaktadır. Bunlar: Bilimsel amaçların formüle edilmesi, bilimsel amaç seçimi, araştırma çerçevesinin tanımlanması, bilgi toplama, bilgiyi düzenleme, araştırma stratejilerinin, metotlarının, araç ve tekniklerinin seçimi, deneyler önerilmesi, deney tasarımı, deney maddelerinin seçimi, beklentilerin tesbit edilmesi, deneylerin yapılması, veri toplama, veri değerlendirme, hipotez oluşturma, teori oluşturma, teori yenileme, amaç sağlama kontrolü ve bilimsel açıklama yapma.

Bu araştırma faaliyetlerinden her biri çeşitli planlama, sınıflandırma ve değerlendirme işini ihtiva edebilir. Kocabaş (1992 b) araştırma faaliyetleri sırasında karşılaşılan bu durumlara oksit süperiletkenlik alanındaki araştırmalardan örnekler vermektedir. Bunlardan meselâ, bilimsel amaçların formüle edilmesi, formüle edilmiş amaçlardan birinin seçimi, strateji önerilmesi, deney önerilmesi ve hipotez oluşturma faaliyetlerini ele alalım.

Araştırma amaçlarının formüle edilmesiyle ilgili hüristik kurallar Kulkarni ve Simon (1988), Lenat (1983), ve Darden (1987) tarafından incelenmiştir. Kocabaş (1992b) araştırma amaçlarını bazan birbirleriyle örtüşebilen iki kategoriye ayırır: Bir olayın açıklamasına yönelik amaçlar ve bir olayı incelemeye yönelik amaçlar. Başarılı bilim adamlarının bilimsel amaçlarını formüle etmek için birkaç genel kural kullandıkları görülmektedir. Bu kurallardan biri, mevcut bilimsel çerçevede açıklanmamış veya açıklanamayan olaylar ve problemler üzerinde dikkatin yoğunlaştırılmasıdır. Ancak bu problemlerin araştırmaya değer olabilmesi için bazı genel ve önemli sonuçları olmalıdır.

Bazı bilimsel araştırma problemleri önemli teknolojik ihtiyaçlarla yakından ilgili olabilir. Enerji dönüşümü, depolanması ve iletilmesi hâlâ önemli teknolojik problemlerdir. “Soğuk füzyon”, oksit süperiletkenlik ve elektrokimya alanlarındaki bilimsel araştırmaları harekete geçiren şey bu tür teknolojik problemlerdir. Bilimsel araştırma konusunun önemli veya ilgi çekici olması tek başına iyi bir bilim adamının alakasını çekmesi için yeterli değildir. Formüle edilen araştırma amaçları aynı zamanda gerçekleştirilebilir olmalıdır.

Bir bilim adamının belli bir olayla ilgili olarak alternatif amaçlar seçmesi olağan dışı bir durum değildir. Böyle durumlarda alternatif amaçlar arasından takip edilecek amacın seçilmesi de ayrı bir araştırma faaliyetidir. Bilim adamları böyle durumlarda öncelikle hangi problem üzerinde çalışacaklarını belirleyen bir dizi seçim kriteri kullanılır. Bu kriterlerden bazıları birbiriyle çelişiyor olabilir ve bu çelişkilerin çözümlenmesi bilim adamı için pek basit bir iş olmayabilir.

Araştırma stratejisi seçimi de bir araştırma amacının başarıya ulaşması için önemli bir husustur. Strateji seçimi, mesela bir olayın açıklanması veya incelenmesi gibi, araştırma amacının türüne bağlıdır. Araştırma stratejisi deney yapmayı gerektiriyorsa, o zaman ne tür deneyler yapılacağına karar verilmesi gerekir.

Deney ihtiva eden bir strateji seçilmişse, bilim adamı mevcut strateji için hangi süreç (proses) ve tekniklerin uygulanacağını tesbit etmelidir. Aynı zamanda hangi deney maddelerini kullanacağını tesbit etmek için, elde edilebilirlik, başarı ihtimali, fiyat ve izafi tehlike (radyo aktivite, parlamıcılık ve aşındırıcılık gibi) açısından bir sınıflandırma yapabilmeli ve en uygun deney maddelerini seçebilmelidir.

Bilimsel deneyler belli teorik çerçevelere, gözlem ve ölçme standart ve yordamlarına göre tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Deneysel değişkenler önceden tanımlanmalıdır, çünkü deneyler bu değişkenlerin değerlerinin değişimini ölçmek için yapılacaktır. Deney verileri de deney şartlarını aşır aşmadıkları açısından değerlendirilmelidir. Hipotezler ancak veri değerlendirilmesi yapıldıktan sonra oluşturulur veya yenilenebilir.

Hipotez oluşturma bilimsel araştırmanın en önemli faaliyetlerinden biridir. Bu konu uzun bir süredir konvansiyonel bilim felsefesinin öncelikli inceleme konusu olmasına rağmen hâlâ ayrıntılı bir inceleme gerektirmektedir. Oksit süperiletkenlik üzerine yaptığımız araştırmada (bkz. Kocabaş, 1992b), bu alanda çalışan bilim adamları tarafından 40'dan fazla hipotez oluşturma kuralı kullanıldığını tesbit ettik. Bu hōristik kuralların çoğu genel olup bir kısmı ise alana özgüdür.

Bu birbirine bağlı araştırma faaliyetleri göstermektedir ki, bilimsel buluşlar kendi başına bir mantıksal yordam ve süreç değil, fakat bilimsel araştırma denilen bir dizi karmaşık süreçlerin ürünüdür. Bilimsel yaratıcılık bu süreçler içindeki faaliyetlerin her birinde gerekli olabilir. Modern fizik tarihi bunun birçok örnekleri ile dolu-

dur. Aşırı bir örnek olmakla birlikte, CERN parçacık hızlandırıcısını göz önüne alalım: Burada araştırma, deney önerilmesi tasarımı, beklentilerin tesbiti, deney verilerinin toplanması, veri değerlendirilmesi, hipotez oluşturma, sağlama ve teori yenileme faaliyetlerini ihtiva etmektedir.

Bilimsel araştırmanın çeşitli yönlerini modellendirmek için bilgisayar modelleri geliştirilmesi devam etmektedir. Bu yöndeki araştırmada ümit edilen şeylerden biri de komple bir araştırma modeli geliştirmek veya çeşitli bilim alanlarında araştırmayı yönlendirebilecek yapay araştırma asistanları geliştirmektir.

Bilgisayarlı modellemede yapay zeka tekniklerinin artan bir şekilde kullanılması simülasyonda matematiksel düşüncenin rolünü azaltmaya doğru gidebilir. Karmaşık fiziksel sistemlerin (fizik teorileri de dahil olmak üzere) bilgisayar modelleri ile temsil edebileceğini ümit etmek pek de hayal gibi görünmemektedir.

Bilgisayarlı modelleme, teorik analiz ve teori yenilenmesinden başka imkanlar da sağlayabilir, çünkü bu modellerin kullanılması, izlenmesi zor ve karmaşık teorileri daha kolay izlenebilir hale getirebilir. Benzer bir şekilde, bilgisayar modellerinin kullanılması, bilimsel açıklamaların daha sistematik, daha doğru ve hedefe yönelik yapılmasını sağlayabilir.

## Sonuç

Konvansiyonel felsefi yaklaşım bilimsel araştırmada söz konusu olan birçok faaliyeti gözardı veya ihmal etmektedir. Biz, bilimin, konvansiyonel bilim felsefesinin öngördüğünden veya sağladığından çok daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerektiğine inanıyoruz. Bilgisayarlı yaklaşım böyle bir çalışma için hem gerekli kavramları hem de gerekli metotları sağlamaktadır.

## REFERENCES

- Boden, M. (1990), *The creative mind*, Sphere Books, London.
- Darden. L. (1987), "Viewing the history of science as compiled hindsight", *The AI Magazine*, 8. No. 2. 33-42.

——, (1991). *Theory change in science: Strategies from Mendelian genetics*, Oxford University Press, N.Y.

Engelmore, R. and Morgan T. (1988), *Blackboard systems*, Addison Wesley.

Forbus, K. D. (1984), “Qualitative process theory”, *Artificial Intelligence*, 24, 85-168.

Hayes-Roth, B. (1993), Architectural foundations for real-time performance in intelligent systems, in David, J-M., Krivine, J-P., and Simmons, R. eds. *Second Generation Expert Systems*, Springer-Verlag, New York.

Karmiloff-Smith, A. (1990), “Constraints of representational change: Evidence from children’s drawing”, *Cognition*, 34.

Kocabaş, S. (1991), “Conflict resolution as discovery in particle physics”, *Machine Learning*, Vol 6, No 3, 277-309.

——, (1992a), “Functional categorization of knowledge”, *AAAI Spring Symposium Series*, 25-27 March 1992, Stanford, CA.

——, (1992b), “Elements of scientific research: Modeling discoveries in oxide superconductivity”, *Proceedings of the ML92 Workshop on Machine Discovery*, 63-70.

——, (1992c), “Evaluation of discovery systems”, *Proceedings of the ML92 Workshop on Machine Discovery*, 168-171.

——, and Langley, P. (1995), “Integration of research tasks for modeling discoveries in particle physics”, in *Working Notes of 1995 Spring Symposium Series*, AAAI Press, CA.

Kuhn, T. S. (1970), *The structure of scientific revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago.

Kulkarni, D. and Simon, H. (1988). The processes of scientific discovery, *Cognitive Science*, 12, 139-175.

Langley, P., Simon, H., Bradshaw, G., and Zykwow, J., (1987). *Scientific discovery: Exploration of the creative processes*, MIT Press.

Lenat, D. B. (1979), “On automated scientific theory formation: A case study using the AM program”, in Hayes, J., Michie., D., and Mikulich, D. I. eds. *Machine Intelligence*, 9, 251-283, Halstead, New York.

——, (1983), “EURISKO: A program that learns new heuristics and domain concepts”, *Artificial Intelligence* 21, 61-98.

—, and Feigenbaum, E. (1987), “On the thresholds of knowledge”, *Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1173-1182.

Maslow, A. H. (1966), *The psychology of science: A reconnaissance*, Harper and Row Publishers. N.Y.

Nordhausen, B. and Langley, P. (1987), “Towards an integrated discovery system”, *Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 198-200.

O’Rorke, P., Morris, S. and Schulenburg, D. (1990), “Theory formation by abstraction”, in Shrager, J., and Langley P. eds. *Computational models of scientific discovery and theory formation*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

Rajamoney, S. A. (1990), “A computational approach to theory revision”, in Shrager, J., and Langley P., eds. *Computational models of scientific discovery and theory formation*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

Rose, D. and Langley, P. (1986), “Chemical discovery as belief revision”, *Machine Learning*, 1, 423-452.

Shrager, J., and Langley, P. Eds. (1990), “Computational approaches to scientific discovery”, in Shrager, J., and Langley P., eds. *Computational models of scientific discovery and theory formation*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

Simon, H. A. (1992), “Scientific discovery as problem solving: Reply to critics”. *International Studies in the Philosophy of Science* 6 (1): 69-88.

Thagard, P. (1988), *Computational philosophy of science*, The MIT Press, Cambridge, MA.

Thagard, P. and Holyoak, K. (1985), “Discovering the wave theory of sound: inductive inference in the context of problem solving”, *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 610-612.

Thagard, P. and Nowak, G. (1990). “The conceptual structure of the geological revolution”, in Shrager, J., and Langley P., eds. *Computational models of scientific discovery and theory formation* Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

Valdes-Perez, R. E. (1994), “Algebraic reasoning about reactions Discovery of conserved properties in particle physics”, *Machine Learning* 17 (1), 47-68.

——, (1995), “Machine discovery in chemistry: New results”. *Artificial Intelligence* 74 (1), 191-201.

Zytkow, J. M. (1987). “Combining many searches in the FAHRENHEIT discovery system”. *Proc. 4th International Workshop on Machine Learning*, Morgan Kaufmann, CA. 281-287.

——, (1990), “Deriving laws through analysis of processes and equations”, in Shrager, J., and Langley P., eds. *Computational models of scientific discovery and theory formation*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.

——, and Simon, H. (1986), “A theory of historical discovery: The construction of componential models”. *Machine Learning*, 1, 107-137.