

İnovasyonun Görünmeyen Ekibi: Yapay Zekâ Ajanları ile Akıllı Ar-Ge

Mehmet Tevfik Ağdaş¹

Özet

Dijital dönüşüm, İnovasyon ve Ar-Ge süreçlerinin şekillenmesinde önemli bir güç olmuştur. Büyük veri, bulut bilişim ve endüstri 4.0 ile birlikte önde gelen yapay zeka uygulamaları bu sürecin itici güçleri olmuştur. Bu bağlamda geliştirilen yapay zekanın yeni nesil yöneticileri olan yapay zekâ ajanları ve çoklu ajan sistemleri, inovasyonun görünmeyen fakat giderek önem kazanan aktörleri olmaya başlamıştır. Ajanlar; literatür taramalarından, deneysel model tasarımlarına, model tasarımdan analiz işlemlerine ve sistem eğitimlerine, raporlama ve hatta Pazar araştırmasına kadar önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Bu işlemler sonucunda ajanlar, inovasyon ve Ar-Ge faaliyet döngülerine hız kazandırmaya başlamıştır.

Bu çalışmada öncelikle doğrusal, zincir bağlantılı, sistemik, açık ve kullanıcı inovasyonu gibi klasik inovasyon yaklaşımları özetlenmekte; bu yaklaşımlar ajanik yapay zekâ perspektifinden yeniden yorumlanmaktadır. Ardından yapay zekâ ajanlarının kavramsal çerçevesi çizilmekte, LLM tabanlı otonom ajanların temel bileşenleri ve çoklu ajan sistemleri ele alınmaktadır. Devamında ajanların Ar-Ge döngüsündeki konumları; fikir üretimi, literatür ve patent taraması, tasarım ve simülasyon, test ve validasyon, ticarileştirme ve pazar analizi bağlamlarında tartışılmaktadır. İnsan-ajan işbirliği modelleri, multi-ajan orkestrasyonu, etik ve yönetim boyutları ile birlikte ele alınmakta; üniversite-sanayi işbirliği, KOBİ'ler, sağlık, enerji ve üretim sektörlerinden örnek uygulama senaryoları sunulmaktadır. Son olarak self-driving laboratories yaklaşımı ve ajanik YZ odaklı kurumsal dönüşüm trendleri çerçevesinde geleceğe dönük bir perspektif geliştirilmektedir. Bu çalışmada, yapay zekâ ajanlarının insan aklının yerine geçen otoriteler değil, doğru tasarlandığında inovasyonu hızlandıran “akıllı ortaklar” olduğu hipotezini savunmaktadır.

1 Dr. Öğr. Üyesi, Munzur Üniversitesi/Çemişgezek Meslek Yüksekokulu/Bilgisayar Teknolojileri Bölümü Sağlık Bilgi Sistemleri Teknikerliği Pr. Çemişgezek, Tunceli, Türkiye. mtagdas@munzur.edu.tr, orcid id: 0000-0002-5608-6240

1. Giriş: Yeni İnovasyon Mimarisinde Yapay Zekâ Ajanları

İnovasyon, 21. yüzyılda artık sadece “yaratıcı fikir bulma” işi olarak görülebilecek bir alan olmaktan çıktı. Günümüzde belirsizliğin yüksek olduğu, verinin çok hızlı ve yoğun aktığı, küresel rekabetin sertleştiği bir ortamda inovasyon; çok sayıda aktörün, teknoloji katmanının ve kurumun bir arada bulunduğu karmaşık bir sosyo-teknik yapı hâline gelmiş durumda. Dijitalleşme, bulut bilişim, büyük veri analitiği ve platform ekonomileri, Ar-Ge’nin hem nasıl organize edildiğini hem de günlük işleyişini ciddi biçimde değiştirdi; özellikle yapay zekâ (YZ) tabanlı sistemler, inovasyon süreçlerinin neredeyse her aşamasına bir şekilde dâhil olmaya başladı (Teece, 2010; Morrar, 2014; Gallouj & Windrum, 2009). Sağlık hizmetlerinde kullanılan yapay zekâ temelli dijital sistemlerde ortaya çıkabilecek bu tür sistemsel hatalar, hasta güvenliği ve yönetsel sorumluluk açısından kritik bir tartışma alanı oluşturmaktadır (Karahüseyinoğlu, 2025).

Bu tablonun içinde, son yıllarda adını daha sık duymaya başladığımız yapılardan biri de yapay zekâ ajanları (AI agents) ve bunların birlikte çalıştığı çoklu ajan sistemleridir (multi-agent systems, MAS). Basit bir ifadeyle ajan; belli bir hedefe doğru hareket eden, içinde bulunduğu çevreyi algılayıp bu algıya göre iç durumunu güncelleyebilen ve amacına uygun eylemler üretebilen otonom bir yazılım ya da donanım birimi olarak tanımlanabilmektedir (Wooldridge, 2009). Büyük dil modellerinin (Large Language Models, LLM) gelişmesiyle beraber “ajanik yapay zekâ” (agentic AI) diye adlandırılan yeni bir yaklaşım ortaya çıktı; plan yapabilen, belli bir görevi hatırlayıp sürdürebilen, dış araçları kullanabilen ve diğer ajanlarla koordinasyon kurabilen bu sistemler, özellikle bilgi yoğun işlerde perde arkasında çalışan ama etkisi giderek artan dijital bir ekip hâline gelmeye başlamıştır (Weng, 2023; Wang ve diğ., 2024; Xi ve diğ., 2025; McKinsey & Company, 2025a).

Bu araştırma çalışmasında, “İnovasyonun Görünmeyen Ekibi” metaforundan hareketle yapay zekâ ajanlarının Ar-Ge ve inovasyon süreçlerinde üstlendikleri roller araştırılıp özetlenmiştir. Çalışmanın temel amacı, ajanları yalnızca rutin işleri devralan otomasyon unsurları olarak değil, Ar-Ge mimarisine gömülü, stratejik karar ve tasarım süreçlerine müdahil olan yapısal bileşenler ve aktif aktörler olarak ele almaktır. Bu doğrultuda önce Ar-Ge ve inovasyonun klasik modelleri ile bunların günümüz koşullarındaki sınırlılıkları özetlenecektir. Ardından yapay zekâ ajanlarının kavramsal çerçevesi çizilecek, Ar-Ge döngüsündeki somut konumları, insan-ajan etkileşim biçimleri, uygulama örnekleri, sundukları fırsatlar ve beraberinde getirdikleri riskler tartışılacak ve son bölümde geleceğe dönük olası gelişim hatlarına ilişkin bir değerlendirme yapılacaktır.

2. Ar-Ge ve İnovasyon: Klasik Yaklaşım ve Sınırları

2.1. Doğrusal inovasyon modeli ve eleştirileri

İnovasyon yazınında uzun yıllar baskın olan doğrusal inovasyon modeli, süreci temelde şu zincir üzerinden tarif etmiştir: temel araştırma → uygulamalı araştırma → geliştirme → üretim → pazarlama. Bu yaklaşımda bilimsel bilgi, yukarıdan aşağıya doğru akarak yeni ürün ve süreçlerin temel girdisi olarak görülür (Kline & Rosenberg, 1986). Doğrusal model, II. Dünya Savaşı sonrası bilim ve teknoloji politikalarının tasarımı, özellikle Vannevar Bush'un ünlü raporu ile etkili olmuştur (Bush, 1945; akt. Kline & Rosenberg, 1986).



Şekil 1. Doğrusal inovasyon modeli.

Şekil 1’de, II. Dünya Savaşı sonrasında baskın yaklaşımı olan doğrusal inovasyon modeli, temel araştırmadan pazarlama aşamasına kadar uzanan tek yönlü bir zincir olarak resmedilmektedir. Bu çerçevede bilgi akışı, laboratuvarlardan pazara doğru yukarıdan aşağıya ilerleyen kesintisiz bir hat gibi tasavvur edilir; inovasyon süreci de birbirini izleyen ve önceden tanımlanmış aşamalardan oluşan düzenli, tek doğrultulu bir süreç olarak varsayılır. Ancak bu şematik anlatıda, kullanıcılar, tedarikçiler ya da düzenleyici otoritelerden gelen geri bildirimler modele dâhil edilmediği için, sürecin gerçekte çok aktörlü, etkileşimli ve geri beslemeye dayalı yapısı görünmez hâle gelmektedir. Dolayısıyla doğrusal model, inovasyonun karmaşık, karşılıklı etkileşimlerle örülü ve öğrenme odaklı doğasını açıklamada belirgin sınırlılıklar taşımaktadır.

1980’lerden itibaren bu sınırlılıkların daha net biçimde fark edilmesiyle birlikte, doğrusal yaklaşım inovasyon literatüründe yoğun biçimde tartışmaya açılmış ve ciddi eleştiriler almıştır (Rothwell, 1994; Gallouj &

Windrum, 2009; Callaghan, 2019). Gerçek hayatta inovasyon; kullanıcı geri bildirimlerinin, tedarikçilerin katkılarının, düzenleyici kurumların yönlendirmelerinin ve farklı bilgi kaynaklarının kesiştiği, çok sayıda döngü içeren dinamik bir süreçtir. Bir ürünün ilk tasarımından sonra sahadan gelen geri bildirimler çoğu kez laboratuvara geri dönüşü zorunlu kılmakta; tasarım, test ve iyileştirme aşamaları defalarca yeniden ele alınmaktadır. Bu nedenle inovasyon sürecini, tek bir çizgi üzerinde ilerleyen doğrusal bir akıştan ziyade, geriye dönüşlerin, paralel etkileşimlerin ve çoklu bağlantıların bulunduğu “karmaşık bir ağ” olarak düşünmek daha gerçekçi görünmektedir.

Doğrusal modelin bir diğer önemli eksikliği, bilginin tek yönlü ve yalnızca “bilimden piyasaya doğru” aktığı varsayımına dayanmasıdır. Oysa pek çok sektörde yeniliklerin kaynağı, doğrudan kullanıcıların günlük pratiklerde yaşadığı sorunlar, üretim hattındaki ustaların ve teknisyenlerin birikimi ya da tedarik zincirinde ortaya çıkan öneri ve çözümlerdir. Başka bir ifadeyle inovasyon, sadece akademik bilgiyle beslenen bir süreç değil; örtük bilgi, saha deneyimi, kullanıcı tecrübesi ve kurum içi öğrenme ile desteklenen, çok yönlü bir öğrenme sürecidir. Bu yüzden doğrusal model, pratik bilgiyi ve kullanıcı odaklı öğrenmeyi arka plana iten, fazlasıyla “bilim merkezli” (science-push) bir çerçeve sunduğu gerekçesiyle eleştirilmektedir.

Ayrıca doğrusal inovasyon modeli, Ar-Ge faaliyetlerini sanki yalnızca büyük laboratuvarların, yüksek bütçeli projelerin ve seçkin bilimsel ekiplerin tekelindeymiş gibi konumlandırma eğilimindedir. Oysa hizmet sektörlerinde, küçük ve orta ölçekli işletmelerde, yazılım girişimlerinde ya da kamusal kuruluşlarda ortaya çıkan, ölçeği görece sınırlı ama etkisi yüksek yenilikler bu bakış açısında yeterince görünür olamamaktadır. Dijitalleşme, yapay zekâ uygulamaları ve platform temelli iş modellerinin yaygınlaşmasıyla birlikte; hızlı prototipleme, kullanıcıyla birlikte geliştirme (co-creation) ve açık inovasyon gibi yaklaşımlar öne çıkmış, inovasyonun tek bir laboratuvara kapanmış, katı biçimde lineer bir süreç olmadığı çok daha açık biçimde ortaya konmuştur.

Doğrusal modelin bir başka sorunlu yönü ise risk ve belirsizliği yeterince hesaba katmamasıdır. Modelde, temel araştırma yapıldıktan sonra bunun doğal olarak uygulamaya, geliştirmeye ve nihayetinde pazarda başarıya dönüşeceği varsayılır. Oysa inovasyon alanında karşılaşılan tablo, başarısız girişimler, durdurulan projeler, beklenen talebi bulamayan ürünler ve sürecin seyrini değiştiren “yan yollar”la doludur. Bu belirsizlikler, çoğu zaman strateji değişikliklerini, yeni ortaklıkların kurulmasını ve konumlanmanın yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılar. Doğrusal yaklaşım ise bu tür karar noktalarını, yönetim mekanizmalarını ve stratejik kırımları modelin

dışında bırakarak sürecin yönetim ve karar alma boyutunu büyük ölçüde görünmez kılmaktadır.

Son olarak doğrusal inovasyon modeli, aktör çeşitliliğini de sınırlı şekilde kavrar. Üniversiteler, araştırma merkezleri ve firmalar elbette inovasyon ekosisteminin temel bileşenleridir; ancak günümüzde kullanıcı toplulukları, sivil toplum kuruluşları, girişim hızlandırıcıları, teknoparklar, regülasyon yapan kurumlar ve hatta veri sağlayıcı platformlar dahi inovasyon süreçlerinin aktif paydaşı hâline gelmiştir. Bu çok aktörlü yapı, bilgi akışlarını ve karar süreçlerini kaba bir ok dizisiyle ifade etmenin ötesinde, daha zengin ve ağ temelli modellere ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Bu nedenle literatürde zincir-bağlantılı inovasyon modeli, ulusal/bölgesel inovasyon sistemleri ve açık inovasyon gibi, etkileşim ve döngüsellliği merkeze alan alternatif çerçeveler geliştirilmiştir.

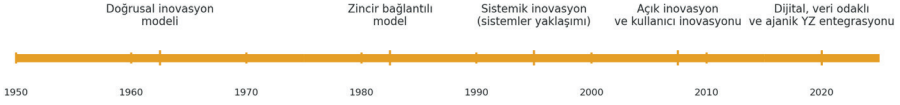
Kısacası doğrusal inovasyon modeli, tarihsel olarak bilim ve teknoloji politikalarını şekillendirmede önemli bir rol oynamış olsa da, günümüzün belirsizlik, hız ve çok aktörlülük içeren Ar-Ge ve inovasyon ortamını açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle modern yaklaşımlar, inovasyonu daha çok etkileşimli, geri beslemeli ve öğrenmeye dayalı bir toplumsal süreç olarak ele alma eğilimindedir.

2.2. Zincir Bağlantılı Model ve Sistem Yaklaşımı

Kline ve Rosenberg (1986), inovasyonun karmaşıklığını daha iyi anlatmak için “zincir bağlantılı model”i önermiştir. Bu modelde inovasyon, yalnızca araştırmadan pazara doğru tek yönlü akan bir süreç değil; problem tanımlama, tasarım, geliştirme, test ve pazardan gelen geri bildirimler arasında çoklu geri besleme döngülerinin bulunduğu, çevrimsel ve yinelenen bir süreçtir. Bu model, Ar-Ge ile üretim, kullanıcı ve bilgi kaynakları arasındaki geri besleme halkalarını özellikle vurgular.

Zincir bağlantılı model, daha sonra ulusal, bölgesel ve sektörel inovasyon sistemleri literatürüyle birleşerek inovasyonu “sistemik” bir olgu olarak ele alan geniş bir çerçevenin parçası hâline gelmiştir (Morrar, 2014).

Bu tartışmayı görsel olarak özetlemek için, Ar-Ge ve inovasyonun doğrusal modelden zincir bağlantılı ve sistemik modellere geçişini gösteren basitleştirilmiş bir zaman çizelgesi Şekil 1’de sunulabilir. Şekil, aynı zamanda her bir döneme karşılık gelen baskın politika söylemlerini ve kurumsal Ar-Ge yaklaşımını da işaret edecek biçimde tasarlanabilir.



Şekil 2. Ar-Ge ve inovasyon modellerinin tarihsel evrimi.

Şekil 2’de, doğrusal Ar-Ge modelinden zincir bağlantılı modele, oradan da sistemik ve açık inovasyon yaklaşımlarına uzanan tarihsel evrimi şematik olarak göstermektedir. Zaman ekseninde her bir döneme karşılık gelen baskın inovasyon anlayışı, tipik bilgi akışı ve temel aktörler (devlet, sanayi, üniversite, kullanıcı toplulukları) ayrı renklerle işaretlenmiştir.

2.3. Schumpeterci İnovasyon, Yaratıcı Yıkım ve Girişimci Rolü

Schumpeter (1934/2008), inovasyonu ekonomik gelişmenin asli itici gücü olarak ele almış, girişimciyi de yeni ürün, süreç, pazar ve örgütlenme biçimlerini ekonomiye dâhil eden merkezi aktör olarak tanımlamıştır. Onun yaklaşımında inovasyon, “yeni kombinasyonların” hayata geçirilmesiyle özdeşir: daha önce üretilmemiş bir malın üretimi, bilinen bir malın farklı bir üretim yöntemiyle üretilmesi, yeni bir pazarın açılması, yeni bir hammadde veya tedarik kaynağına erişim ya da sanayi örgütlenmesinde köklü bir dönüşüm bu kombinasyonlara örnek olarak verilir (Schumpeter, 2008). Bu çerçeveden bakıldığında inovasyon, küçük düzeltmelerden veya marjinal iyileştirmelerden ibaret değildir; ekonomik yapıda sürekliliği bozan niteliksel bir sıçrama anlamına gelir. Dolayısıyla Schumpeterci perspektifte ekonomik gelişme, “yaratıcı yıkım” süreçleri üzerinden, yani yerleşik yapıların yeni kombinasyonlar lehine tasfiye edildiği dalgalar aracılığıyla gerçekleşir. Yaratıcı yıkım, bir taraftan mevcut firma, teknoloji ve iş modellerinin değerini aşındırırken, diğer taraftan yeni girişimlere ve endüstrilere alan açan dinamik bir dönüşüm mekanizmasıdır (Callegari & Nybakk, 2022).

Schumpeter’in çözümlemesinde girişimci, bu dönüşümün tam merkezinde konumlanır. Girişimci, mevcut üretim düzenini verimli biçimde sürdüren “yönetici” tipinden farklı olarak, yerleşik rutinlerin dışına çıkma cesareti gösteren, belirsizlik altında karar alabilen ve yenilikçi kombinasyonları fiilen uygulamaya sokan aktördür. Piyasa da bu girişimsel hamlelere, geçici tekel kârları aracılığıyla yanıt verir; yani yenilikçi girişimci kısa bir süre için olağanüstü kârlılık ve rekabet üstünlüğü elde eder, ardından diğer aktörler bu yeniliği taklit eder ve yeni bir rekabet dengesi oluşur. Böylelikle Schumpeterci döngü, yenilik dalgaları, bu dalgaların tetiklediği kurumsal yeniden yapılanmalar ve bunların birbirini izlemesi üzerinden

işler; uzun dönemli ekonomik büyüme de söz konusu dalgaların bileşkesi olarak yorumlanır.

Dijitalleşmenin derinleştiği günümüz ekonomi ortamında inovasyon, tek bir “kahraman girişimci” figüründen çok, disiplinlerarası ekipler, büyük Ar-Ge laboratuvarları, start-up ekosistemleri ve platform temelli mimariler üzerinden yürütülüyor görünse de, Schumpeter’in çerçevesi hâlâ önemli ölçüde açıklayıcılığını korumaktadır. Özellikle yapay zekâ, bulut bilişim ve veri odaklı iş modelleri, yeni kombinasyon üretmenin ve bunları test etmenin maliyetini aşağı çekmekte; sektör sınırlarını bulanıklaştırarak yaratıcı yıkım süreçlerinin hızını artırmaktadır. Bu bağlamda Schumpeter’in girişimci figürü, günümüz koşullarında giderek daha fazla “insan-makine takımı” şeklinde yeniden düşünülmektedir: Stratejik niyetin belirlenmesi, değer yargılarının tanımlanması ve nihai kararların verilmesi insanda kalırken; çok sayıda alternatif kombinasyonu tarama, senaryo ve simülasyon üretme, hızlı prototip geliştirme gibi işlevler büyük ölçüde dijital sistemler tarafından üstlenilmektedir.

Buradan hareketle, güncel yapay zekâ ajanlarının Schumpeter’in tanımladığı girişimciyi bütünüyle ikame ettiğini söylemek mümkün değildir; ancak yeni kombinasyonların keşfi, denenmesi ve ölçeklenmesinde son derece güçlü dijital yardımcılar hâline geldikleri açıktır. Özellikle self-driving lab yaklaşımları ve ajanik YZ destekli tasarım ortamları, literatür ve patent taramasından hipotez üretimine, deney koşullarının otomatik optimizasyonundan sonuçların analizine uzanan zinciri yüksek oranda otomasyona bağlayarak yaratıcı yıkım süreçlerini hızlandıran yeni araçlar sunmaktadır (Tom et al., 2024; Kim, 2025). Bu tür sistemler, girişimcinin önünde duran olası seçenek uzayını genişletmekte; normalde zaman ve maliyet kısıtları yüzünden test edilmesi güç olan pek çok kombinasyonun simülasyon veya küçük ölçekli deneyler yoluyla sınanmasına imkân vermektedir.

Bununla birlikte Schumpeterci anlamda girişimcilik, yalnızca teknik olarak “daha iyi” kombinasyonları hesaplama meselesine indirgenemez; hangi kombinasyonların toplumsal açıdan arzu edilir olduğu, hangi alanlarda yaratıcı yıkımın teşvik edilmesi ya da yavaşlatılması gerektiği gibi normatif tercihleri de içerir. Yapay zekâ ajanları veri ve algoritmalara dayanarak öneriler üretebilse de, bu öneriler arasından hangilerinin seçileceği, hangi toplumsal sonuçların kabul edilebilir görüleceği ve hangi risklerin göze alınacağı hâlâ insan girişimcilerin, yöneticilerin ve politika yapıcılarının sorumluluk alanındadır. Bu nedenle Schumpeterci inovasyon anlayışı, çağdaş yapay zekâ ajanlarını girişimciyi tamamen ikame eden bağımsız aktörler olarak değil,

onun keşif, deney ve ölçekleme kapasitesini katlayan “bilişsel altyapılar” olarak kavramsallaştırmanın daha isabetli olacağını göstermektedir.

2.4. Açık İnovasyon ve Kullanıcı İnovasyonu

2000’li yılların başından itibaren açık inovasyon yaklaşımı, inovasyonun firma sınırları içindeki “kapalı” süreçlerden, bilgi ve teknolojinin firma içi ve dışı akışlarının bilinçli olarak yönetildiği “açık” süreçlere evrildiğini vurgulanmıştır (Chesbrough, 2003; Chesbrough & Bogers, 2014). Açık inovasyon, şirketlerin üniversiteler, girişimler, kullanıcı toplulukları ve gerekirse rakipleriyle bile bilgi ve teknoloji alışverişi yaparak inovasyon üretebileceğini öne süren bir yaklaşım olmuştur.

Von Hippel (2005) ise kullanıcı inovasyonu kavramıyla, yeniliklerin önemli bir kısmının üretici firmalardan değil, ileri düzey kullanıcılar ve kullanıcı topluluklarından kaynaklandığını göstermiştir. Böylece inovasyonun “demokratikleşmesi”, yani daha geniş aktör kümelerinin inovasyon sürecine katılımı gündeme gelmiştir (von Hippel, 2005).

Klasik inovasyon yaklaşımlarının ajanik yapay zekâ perspektifinden nasıl yeniden yorumlanabileceğini özetleyen karşılaştırmalı çerçeve Tablo 1’de sunulabilir. Bu tabloda doğrusal model, zincir bağlantılı model, sistemik inovasyon yaklaşımı, açık inovasyon ve kullanıcı inovasyonu; bilgi akışı, aktör çeşitliliği, geri besleme yoğunluğu ve ajanik YZ entegrasyon potansiyeli boyutlarında yan yana gösterilmektedir.

Tablo 1. Klasik inovasyon yaklaşımlarının ajanik yapay zekâ perspektifinden karşılaştırılması.

İnovasyon yaklaşımı	Bilgi akışının yönü	Başlıca aktörler	Kullanıcı / topluluk rolü	Ajanik YZ entegrasyon potansiyeli
Doğrusal inovasyon modeli	Temel araştırmadan pazara doğru tek yönlü akış	Devlet, büyük sanayi Ar-Ge birimleri	Pasif tüketici; geri bildirim sınırlı	Düşük – süreç katı ve ardışık olduğu için ajan entegrasyonu genelde son aşamalarda, dokümantasyon ve veri analizi ile sınırlı kalır.
Zincir bağlantılı inovasyon modeli	Ar-Ge, tasarım, üretim ve pazar arasında çoklu geri besleme halkaları	Firma içi Ar-Ge, üretim, pazarlama birimleri; tedarikçiler	Geri bildirim sağlayan kullanıcı; sorun ve ihtiyaçların belirlenmesinde daha görünür	Orta – geri besleme halkalarında literatür/ pazar tarama ve veri analizi ajanları anlamlı katkı sağlar.
Sistemik inovasyon yaklaşımı (ulusal/ bölgesel inovasyon sistemleri)	Çok yönlü, ağ temelli bilgi dolaşımı	Üniversiteler, firmalar, kamu kurumları, ara-yapılar, STK'lar	İnovasyon ekosisteminin parçası; ortak projelerde yer alan paydaş	Orta-yüksek – karmaşık ağ yapısında bilgi akışını koordine eden, harici veri kaynaklarını bağlayan ajan platformları kritik rol oynar.
Açık inovasyon	Firma sınırları içinde ve dışında çift yönlü bilgi ve teknoloji akışı	Firmalar, girişimler, üniversiteler, kullanıcı toplulukları, rakipler	Aktif ortak-yaratıcı; dış bilgi ve çözüm kaynağı	Yüksek – çoklu veri kaynağı, lisans, iş birliği ve platform yönetiminde uzman ajanlar önemli bir çarpan etkisi yaratır.
Kullanıcı inovasyonu	Kullanıcıdan üreticiye doğru güçlü bilgi akışı; topluluk içi paylaşım	İleri düzey kullanıcılar, kullanıcı toplulukları, üretici firmalar	Merkezî rol; çözüm geliştiren ve paylaşan ana aktör	Yüksek – topluluk verisi analizi, eğilim çıkarımı ve ortak tasarım süreçlerini destekleyen ajanlar inovasyonu ölçeklendirebilir.

Tablo 1’de, klasik inovasyon yaklaşımlarını **bilgi akışı, aktör yapısı, kullanıcı/topluluk rolü** ve **ajanik yapay zekâ (YZ) entegrasyon potansiyeli** açısından karşılaştırmalı olarak açıklanmıştır. Doğrusal inovasyon modelinde bilgi akışı temel araştırmadan pazara doğru **tek yönlü ve ardışık** ilerlemekte,

başlıca aktörler devlet ve büyük sanayi Ar-Ge birimleridir; kullanıcı pasif tüketici konumunda olduğundan, ajanik YZ entegrasyon potansiyeli **düşük** düzeydedir ve daha çok sürecin sonundaki dokümantasyon ve veri analizi gibi işlevlerle sınırlı kalmaktadır. Zincir bağlantılı modelde ise Ar-Ge, tasarım, üretim ve pazar arasında **çoklu geri besleme halkaları** bulunmakta; firma içi birimler ve tedarikçiler arasında daha yoğun etkileşim sağlanmakta, kullanıcının geri bildirim rolü belirginleşmektedir. Bu yapı, literatür ve pazar taraması ile veri analitiği yapan ajanların devreye girebilmesine imkân tanıdığı için ajanik YZ potansiyeli **orta** düzeye yükselmektedir.

Sistemik inovasyon yaklaşımında (ulusal/bölgesel inovasyon sistemleri) bilgi dolaşımı **ağ temelli ve çok yönlü** hâle gelmekte; üniversiteler, firmalar, kamu kurumları, ara-yapılar ve STK'lardan oluşan geniş bir ekosistem söz konusudur. Kullanıcı, doğrudan ya da dolaylı biçimde bu ekosistemin parçası hâline gelirken, karmaşık ağ yapısında bilgi akışını koordine eden ve harici veri kaynaklarını bağlayan ajan platformları sayesinde ajanik YZ entegrasyon potansiyeli **orta-yüksek** olarak değerlendirilmektedir. Açık inovasyon ve kullanıcı inovasyonu yaklaşımlarında ise firma sınırları içinde ve dışında **çift yönlü bilgi ve teknoloji akışı**, kullanıcı topluluklarının ve ileri düzey kullanıcıların **aktif ortak-yaratıcı aktörler** hâline gelmesi ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda çoklu veri kaynağına, lisans ve iş birliği süreçlerine ve büyük hacimli topluluk verisine dayalı platformlarda; ortak tasarım, eğilim analizi ve çözüm önceliklendirme gibi görevleri üstlenen ajanik YZ ajanları inovasyonu ölçeklendirebildiğinden, bu iki yaklaşımda entegrasyon potansiyeli **yüksek** olarak ortaya çıkmaktadır. Böylece tablo, inovasyon modelleri daha açık, ağsı ve kullanıcı merkezli hâle geldikçe ajanik YZ'den sağlanabilecek faydanın da sistematik biçimde arttığını göstermektedir.

2.5. Dijitalleşme, İş Modelleri ve Ar-Ge Baskıları

Dijital dönüşüm, iş modellerini ve inovasyon stratejilerini derinden etkilemiştir. Teece (2010), iş modelini işletmenin nasıl değer yarattığı, bunu müşteriye nasıl sunduğu ve bu değeri nasıl gelir ve kâra dönüştürdüğünü açıklayan bir çerçeve olarak tanımlar. Dijitalleşen ekonomide iş modelleri, veri odaklılık, platform mantığı ve ekosistem temelli değer yaratma gibi unsurlarla yeniden şekillenmektedir (Teece, 2010; Morrar, 2014).

Bu bağlamda Ar-Ge birimleri, yalnızca teknoloji geliştirmekle değil, veri odaklı, platform tabanlı ve ekosistemle uyumlu inovasyon üretmekle yükümlüdür. Artan veri hacmi, hız baskısı ve belirsizlik, insan odaklı Ar-Ge süreçlerini zorlamakta; literatür tarama, patent inceleme, pazar verilerinin analizi, deney tasarımı ve sonuç yorumlama gibi yoğun bilişsel görevler

ciddi bir yük oluşturmaktadır. Yapay zekâ ajanları, tam da bu noktada devreye girerek Ar-Ge'nin bilişsel yükünü paylaşma ve süreçleri akıllı Ar-Ge'ye dönüştürme potansiyeli taşımaktadır (McKinsey & Company, 2025a; 2025d).

3. Yapay Zekâ Ajanları: Kavramsal Çerçeve ve Türler

3.1. Ajan Kavramı ve Temel Özellikler

YZ literatüründe ajan, genellikle içinde bulunduğu çevreyi algılayan (sensörler, veri akışları), bu algıya göre içsel durumunu güncelleyen ve belirli hedefler doğrultusunda eylemde bulunan otonom bir yazılım veya donanım bileşeni olarak tanımlanır (Wooldridge, 2009). Ajanların temel özellikleri; otonomi, reaktivite, proaktivite ve sosyallik olarak özetlenebilir (Wooldridge, 2009).

Bu özellikler, Ar-Ge ve inovasyon gibi dinamik ve belirsizlik içeren alanlarda ajanları son derece uygun araçlar hâline getirmektedir. Örneğin bir ajan, değişen pazar koşullarını algılayıp veri tabanlarını güncelleyebilir, Ar-Ge yol haritalarını buna göre revize edebilir veya yeni deney tasarımları önerebilir (Wang et al., 2024).

3.2. Çoklu Ajan Sistemleri (MAS)

Çoklu ajan sistemleri, birden fazla ajanın ortak veya kısmen örtüşen hedefler doğrultusunda etkileşim içinde çalıştığı sistemlerdir. MAS alanı, koordinasyon, müzakere, görev dağılımı ve kolektif zekâ gibi kavramlarla ilgilenir (Wooldridge, 2009). Kurumsal ortamlarda, farklı ajanın farklı uzmanlık rolleri üstlenmesi ve bir “orkestrasyon katmanı” tarafından koordine edilmesi, güncel bir uygulama eğilimi olarak öne çıkmaktadır (AutoDoc AI, 2025; McKinsey & Company, 2025a).

Son yıllarda, şirketlerin iş süreçlerini ve Ar-Ge görevlerini birbirleriyle etkileşim hâlinde çalışan uzman ajanlara paylaştırdığı multi-agent generative AI yaklaşımları yaygınlaşmaktadır. Örneğin bir sistemde literatür tarama, veri analizi, raporlama ve proje planlama için ayrı ajanlar tasarlanmakta; bu ajanlar bir “ajan platformu” üzerinde birlikte çalışmaktadır (AutoDoc AI, 2025).

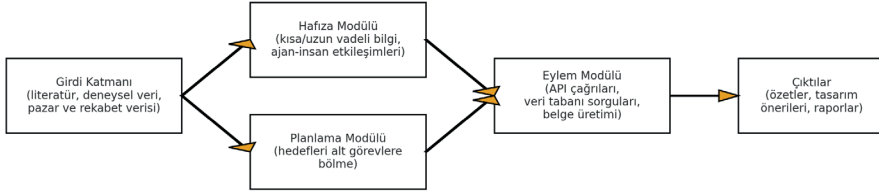
3.3. LLM Tabanlı Otonom Ajanlar

Büyük dil modellerinin ortaya çıkışı ile birlikte, LLM tabanlı otonom ajanlar önemli bir araştırma ve uygulama alanı hâline gelmiştir. Bu ajanlar, diyalog yeteneği, doğal dilde planlama, kod üretimi ve araç kullanımı gibi

yetenekleri bir arada sunarak klasik kural tabanlı ajanlardan ayrılmaktadır (Weng, 2023; Wang et al., 2024). Wang ve arkadaşları (2024), LLM tabanlı ajanların tipik bileşenlerini; profil modülü (rol ve uzmanlık), hafıza modülü (kısa ve uzun vadeli bilgi birikimi), planlama modülü (hedefleri alt görevlere ayırma) ve eylem modülü (araç kullanımı, API çağrıları vb.) olarak özetlemektedir.

Xi ve arkadaşları (2025) ise bu ajanların; bilimsel keşif, mühendislik tasarımı, yazılım geliştirme ve iş süreçleri otomasyonu gibi alanlarda hızla yaygınlaştığını vurgulamaktadır. Bu çerçevede Ar-Ge ve inovasyon süreçlerinde ajanik YZ kullanımı, yalnızca teorik bir olanak değil, giderek kurumsal pratiklere yerleşen bir gerçekliktir (McKinsey & Company, 2025b; 2025c).

LLM tabanlı bir Ar-Ge ajanının tipik bileşenleri ve bu bileşenlerin Ar-Ge süreciyle ilişkisi, kavramsal düzeyde Şema 1 ile gösterilebilir. Şema, profil, hafıza, planlama ve eylem modüllerini; giriş verileri (literatür, deney verisi, pazar verisi) ve çıktı artefaktları (özet, tasarım önerisi, rapor taslağı vb.) ile birlikte tek bir mimari içinde resmetmektedir.



Şema 1. LLM tabanlı Ar-Ge ajanının temel bileşenleri.

Şema, LLM tabanlı bir Ar-Ge ajanının giriş-işleme-çıkış yapısını göstermektedir. Giriş katmanında literatür verisi, deneysel veri, pazar ve rekabet verisi bulunmakta; bunlar hafıza modülü ve planlama modülüne aktarılmaktadır. Planlama modülü, hedefleri alt görevlere bölerek eylem modülüne iletmekte; eylem modülü ise araç kullanımı (API çağrıları, veri tabanı sorguları, belge üretimi) yoluyla çıktı üretmektedir. Hafıza modülü, ajan-insan etkileşimlerinden ve yeni proje deneyimlerinden öğrenilenleri güncelleyerek ajanı zaman içinde “kurumsal hafızaya” dönüştürmektedir.

3.4. Ar-Ge Bağlamında Uzmanlık Ajanları

Ar-Ge ve inovasyon süreçlerine uyarlanmış “uzmanlık ajanları” kavramsal olarak şu türlere ayrılabilir:

- **Literatür tarama ajanı:** Bilimsel makaleleri, raporları ve standartları tarayıp özetleyen, alan yazın boşluklarını işaret eden ajanlardır (Wang et al., 2024).

- **Patent ve mevzuat ajanı:** Patent veri tabanlarını, yasal düzenlemeleri ve standartları inceleyerek özgünlük ve uyum analizi yapan ajanlardır (AutoDoc AI, 2025).

- **Veri analitiği ve simülasyon ajanı:** Deneysel verileri analiz eden, istatistiksel model kuran ve simülasyonlar yürüten ajanlardır (Tom et al., 2024; Tobias et al., 2025).

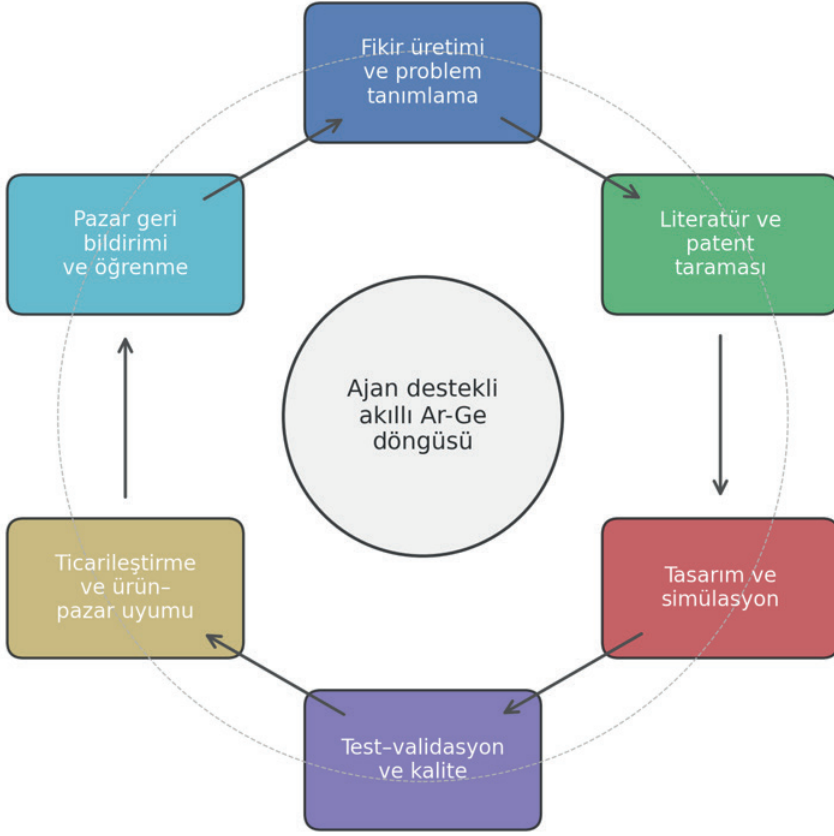
- **Ürün-pazar uyumu ajanı:** Müşteri geri bildirimlerini, pazar raporlarını ve rekabet verilerini analiz ederek stratejik öneriler geliştiren ajanlardır (Teece, 2010; McKinsey & Company, 2025b).

- **Dokümantasyon ve raporlama ajanı:** Ar-Ge teşvikleri, proje başvuru formları ve teknik raporlar için taslak oluşturan ajanlardır (AutoDoc AI, 2025).

Bu ajanların her biri, geleneksel Ar-Ge ekibinde yer alan belirli uzmanlık rollerinin dijital birer tamamlayıcısı olarak düşünülebilir.

4. Ar-Ge Döngüsünde Yapay Zekâ Ajanlarının Konumlandırılması

Ar-Ge ve inovasyon süreci, farklı disiplin ve aktörlerin katkı verdiği, çok aşamalı bir döngü olarak ele alınabilmektedir. Yapay zekâ ajanları, bu döngünün hemen her aşamasında farklı fonksiyonlar üstlenebilmektedir. Bu bölümde ele alınan Ar-Ge döngüsü ve ajanların konumlandırılması, genel hatlarıyla Şekil 3 ile görselleştirilmeye çalışılmıştır. Şekil 3'te, fikir üretiminden ticarileştirmeye uzanan döngüsel yapıyı ve her aşamada devreye giren ajan türlerini aynı diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3. Ajan destekli akıllı Ar-Ge döngüsü.

Şekil 3’de ajan destekli akıllı Ar-Ge döngüsü verilmiştir. Fikir üretimi, problem tanımlama, literatür ve patent taraması, tasarım ve simülasyon, test-validasyon, ticarileştirme ve pazar geri bildirimi aşamalarından oluşan döngüsel Ar-Ge süreci gösterilmektedir. Her aşamanın yanında ilgili ajan türü (örneğin literatür tarama ajanı, simülasyon ajanı, ürün-pazar uyumu ajanı) ikonlarla belirtilmiştir. Geri besleme okları, ajanik YZ ile güçlendirilmiş sürekli öğrenme mantığını vurgulamaktadır.

4.1. Fikir Üretimi ve Problem Tanımlama

Fikir üretimi genellikle insan yaratıcılığı ile ilişkilendirilir. Bununla birlikte ajanlar;

- Belirli bir alanla ilgili son literatürü tarayıp, hangi konularda araştırma açığı olduğunu özetleyebilir (Wang et al., 2024).

- Patent veri tabanlarından, hangi teknolojik alanlarda yoğun başvuru, hangi alanlarda görece boşluk bulunduğunu gösterebilir (AutoDoc AI, 2025).
- Pazar eğilimleri ve müşteri şikâyetlerini analiz ederek çözüme muhtaç problem alanlarını önerebilir (McKinsey & Company, 2025b).

Bu görevler, insan araştırmacının sezgisel ve yaratıcı düşünmesini besleyen bilgi zeminini güçlendirir. Açık inovasyon literatüründe vurgulanan çok kaynaklı bilgi akışlarının ajanlar aracılığıyla daha sistematik hâle getirilebilmesi mümkündür (Chesbrough, 2003; Chesbrough & Bogers, 2014; von Hippel, 2005).

4.2. Literatür ve Patent Tarama Ajanları

Bilimsel literatür ve patent veri tabanları, günümüzde insan araştırmacıların tek başına etkin biçimde taramasının zorlaştığı bir hacme ulaşmıştır. LLM tabanlı ajanlar, doğal dilde soruları anlayıp akademik veri tabanları, ön baskı sunucuları ve patent arşivleri üzerinde arama yapabilmekte, sonuçları anlamlı biçimde kümelendirip özetleyebilmektedir (Wang et al., 2024). Bu tür ajanlar;

- Sistematik derleme ve bibliyometrik analiz süreçlerini hızlandırabilir,
- Özgünlük değerlendirmesinde araştırmacıya destek olabilir,
- Araştırma hipotezlerinin gerekçelendirilmesini kolaylaştırabilir.

Patent ajanları ise özgünlük riskini azaltmak, ihlal olasılıklarını görmek ve “beyaz alan” analizleri yapmak için kullanılabilir (AutoDoc AI, 2025). Böylece Ar-Ge yatırımları daha risk kontrollü şekilde yönlendirilebilir.

4.3. Tasarım, Simülasyon ve Prototipleme Ajanları

Mühendislik ve tasarım odaklı Ar-Ge’de, parametrik tasarım, sayısal simülasyon (CFD, FEA vb.) ve optimizasyon kritik aşamalardır. YZ ajanları;

- Tasarım uzayını sistematik biçimde tarayan optimizasyon döngüleri,
- Simülasyon sonuçlarına göre parametre güncelleyen adaptif tasarım döngüleridir.

Çok kriterli karar verme (maliyet, performans, sürdürülebilirlik vb.) için karar destek önerileri üreterek prototipleme süresini kısaltabilmektedir. (Tom et al., 2024; Tobias et al., 2025). Self-driving laboratories literatürü, malzeme keşfi ve kimya alanlarında deney tasarımı, yürütme ve analiz süreçlerinin yüksek oranda otonom hâle gelebildiğini göstermektedir (Tom

et al., 2024; Kim, 2025; SciSpot, 2025). Bu laboratuvarlarda ajanlar, deney planlarını optimize eden “beyin” işlevi görürken, robotik cihazlar fiziksel deneyleri icra eden “eller” rolünde olmaktadır. (Tobias et al., 2025).

4.4. Test, Validasyon ve Kalite Ajanları

Test ve validasyon aşamalarında ajanlar;

- Sensör verilerini gerçek zamanlı izleyip anomali tespiti yapabilir,
- Deney sonuçlarını istatistiksel olarak analiz ederek güven aralıkları ve etki büyüklüklerini hesaplayabilir,
- Kalite yönetim sistemleriyle entegre çalışarak uygunsuzluk kayıtlarını otomatik sınıflandırabilir.

Bu sayede deneysel döngülerin hızı artar, tekrar eden manuel raporlama görevleri azalır ve araştırmacılar yorumlama ve strateji geliştirme gibi daha yüksek katma değerli işlere odaklanabilmektedir (Kim, 2025; McKinsey & Company, 2025d).

4.5. Ticarileştirme, Pazar Analizi ve Rekabet İstihbaratı Ajanları

Ar-Ge'nin inovasyona dönüşmesi, yalnızca teknik başarıya bağlı değildir; ürün-pazar uyumu, iş modeli tasarımı ve rekabet stratejisi de kritik önemdedir (Teece, 2010). YZ ajanları;

- Pazar raporları, sosyal medya verileri ve müşteri geri bildirimlerini tarayarak eğilim analizleri yapabilir,
- Rakip ürünlerin fiyatlandırma, özellik ve konumlandırma stratejilerini izleyebilir,
- Farklı iş modeli senaryolarının gelir ve maliyet projeksiyonlarını simüle edebilir (McKinsey & Company, 2025b; 2025c).

Ar-Ge sürecinin her bir aşamasında hangi ajan türlerinin öne çıktığını, bu ajanların yerine getirdiği temel işlevleri ve beklenen çıktı türlerini özetleyen yapılandırılmış bir bakış Tablo 2 ile sunulmuştur. Tablo, araştırmacı ve yöneticilere, ajanik YZ'yi hangi aşamada, hangi amaçla devreye alabilecekleri konusunda pratik bir rehber niteliği taşımaktadır.

Tablo 2. Ar-Ge aşamaları ve destekleyici yapay zekâ ajan türleri.

Ar-Ge aşaması	Öne çıkan ajan türleri	Temel işlevler	Beklenen çıktılar
1. Fikir üretimi ve problem tanımlama	- Veri ve eğilim analiz ajanı - İhtiyaç keşfi / içgörü ajanı	- İç ve dış veri kaynaklarından (müşteri geri bildirimi, şikâyet kayıtları, sosyal medya, sektör raporları vb.) eğilim çıkarımı - Problem alanlarını kümelendirme ve önceliklendirme - Stratejik odak alanları için öneri üretme	- Fikir havuzu listeleri - Önceliklendirilmiş problem alanları - Stratejik tema ve odak başlıkları özeti
2. Literatür ve patent taraması	- Literatür tarama ve özetleme ajanı - Patent ve mevzuat ajanı	- Bilimsel makale, rapor ve standart taraması - Ana kavram, yöntem ve boşluk analizi - Patent ve standartlara göre özgünlük/ihlal risk değerlendirmesi	- Literatür özeti raporları - Araştırma boşlukları listesi - Patent manzarası (landscape) ve beyaz alan analizi
3. Tasarım ve simülasyon	- Tasarım optimizasyon ajanı - Simülasyon ve modelleme ajanı	- Tasarım parametre uzayının taranması - Sayısal simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi - Çok kriterli (maliyet, performans, sürdürülebilirlik) optimizasyon	- Önerilen tasarım/ senaryo setleri - Parametre öneri listeleri - Simülasyon sonuç özetleri ve karşılaştırma tabloları
4. Test- validasyon ve kalite	- Deney tasarım ajanı - Veri analitiği ve kalite kontrol ajanı	- Deney planlarının (DoE) önerilmesi ve revizyonu - Test verilerinin istatistiksel analizi - Anomali tespiti ve hata sınıflandırması - Kalite göstergeleri ve limitlerinin izlenmesi	- Deney planı dokümanları - Performans ve güvenilirlik raporları - Hata/arıza sınıflandırma çıktıları - Kalite KPI gösterge setleri
5. Ticarileştirme ve ürün-pazar uyumu	- Ürün-pazar uyumu ajanı - İş modeli ve fiyatlandırma ajanı	- Pazar segmentasyonu ve rekabet analizi - Müşteri ihtiyaç/tercih kümelerinin çıkarılması - Farklı iş modeli ve fiyatlandırma senaryolarının değerlendirilmesi	- Pazar analizi raporları - Ürün-pazar uyumu değerlendirme notları - İş modeli ve fiyatlandırma senaryo özetleri
6. Pazar geri bildirimi ve sürekli öğrenme	- Geri bildirim ve memnuniyet analizi ajanı - Öğrenen kurumsal hafıza ajanı	- Satış sonrası geri bildirim, çağrı merkezi kayıtları ve çevrim içi yorumların analizi - Şikâyet ve önerilerin sınıflandırılması - Yeni iterasyonlar için Ar-Ge'ye geri besleme üretimi - Kurumsal bilgi tabanının güncellenmesi	- Müşteri memnuniyeti ve sorun haritaları - İyileştirme öneri listeleri - Güncellenmiş bilgi tabanı ve SSS dokümanları - Bir sonraki Ar-Ge döngüsüne yönelik yol haritası girdileri

Tablo, Ar-Ge sürecini fikir üretimi, literatür/patent taraması, tasarım ve simülasyon, test-validasyon, ticarileştirme ve pazar geri bildirimi olarak altı temel aşamada ele almakta ve her bir aşama için öne çıkan ajan türlerini, bu ajanların yerine getirdiği başlıca işlevleri ve beklenen çıktı türlerini (rapor, özet, tasarım önerisi, parametre seti, pazar analizi vb.) özetlemektedir. Böylece Ar-Ge yöneticileri, ajanik YZ entegrasyonunu aşama bazlı olarak planlayabilmektedir.

5. Akıllı Ar-Ge Ekosistemleri: İnsan-Ajan İşbirliği Modelleri

5.1. İnsan Merkezli, Ajan Destekli İnovasyon

Literatürde giderek öne çıkan görüş, YZ ajanlarının insanı ikame etmekten ziyade tamamlayıcı olduğu yönündedir (Weng, 2023; Wang et al., 2024). Ar-Ge bağlamında bu durum, insan-ajan işbirliğine dayalı hibrit bir inovasyon modeli gerektirir. McKinsey & Company (2025a), ajanların gerçek potansiyelinin, iş akışlarının ajan merkezli yeniden tasarımı ile ortaya çıktığını vurgulamaktadır.

Bu çerçevede insan-ajan işbirliği;

- Stratejik kararlar ve etik sorumluluğun insanlarda,
- Yüksek hacimli veri işleme ve rutin karar önerilerinin ajanlarda olduğu,
- Kararların son onayının insanda kaldığı bir yapı şeklinde kurgulanabilir.

Böylece insan yaratıcılığı ve sezgisi, ajanın hesaplama gücü ve veri işleme kapasitesiyle desteklenir.

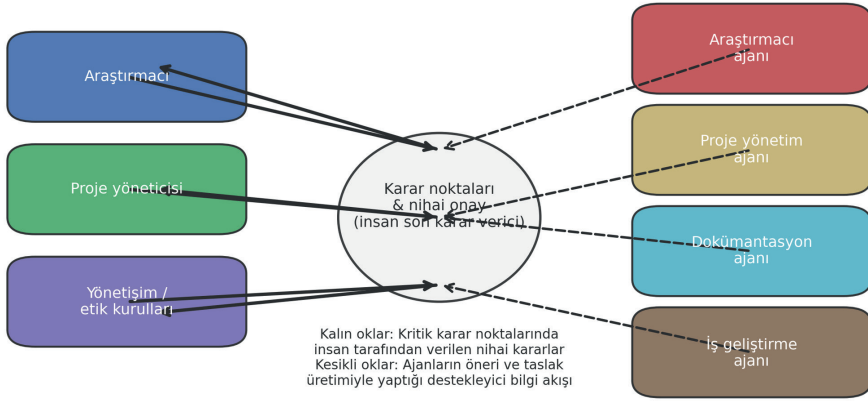
5.2. Kurumsal Ar-Ge’de Rol Dağılımı

Kurumsal Ar-Ge ekiplerinde tipik roller; araştırmacılar, proje yöneticileri, teknoloji transfer uzmanları ve iş geliştirme profesyonelleridir. YZ ajanları, bu rol setine “görünmeyen ekip üyeleri” olarak eklenebilir:

- Araştırmacı ajan: Literatür, veri analizi, hipotez ön-değerlendirmesi (Wang et al., 2024).
- Proje yönetim ajanı: Gantt şemaları, risk matrisleri, bütçe takibi (AutoDoc AI, 2025).
- Dokümantasyon ajanı: Proje başvuru formları, ara raporlar, Ar-Ge teşvik dokümantasyonu (AutoDoc AI, 2025).
- İş geliştirme ajanı: Pazar analizi, rakip takibi, iş modeli senaryoları (Teece, 2010; McKinsey & Company, 2025b).

Bu yapılanma, kurumsal hafızanın ajanlar tarafından sürekli güncellenmesini de mümkün kılar; ajanlar, projeler arası bilgi aktarımını kolaylaştıran bir “bilgi dolaşım sistemi” işlevi görebilir (SciSpot, 2025).

İnsan-ajan işbirliğinin temel rol dağılımını, karar yetkisi sınırlarını ve bilgi akışını gösteren kavramsal model, şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. İnsan-ajan işbirliğinde rol dağılımı ve bilgi akışı.

Şekil 4’de insan aktörler (araştırmacı, proje yöneticisi, yönetim/etik kurulları) ile yapay zekâ ajanları (araştırmacı ajan, proje yönetim ajanı, dokümantasyon ajanı, iş geliştirme ajanı) arasındaki rol dağılımı ve bilgi akışı şematik olarak gösterilmektedir. Kalın oklar insanın son karar verici olduğu kritik karar noktalarını, kesikli oklar ise ajanların öneri ve taslak üretimi yaptığı destekleyici alanları temsil etmektedir.

5.3. Multi-ajan orkestrasyonu ve platformlar

Güncel raporlar, çok sayıda ajanın birlikte çalışmasını sağlayan “ajan platformları”nın ortaya çıktığını göstermektedir (McKinsey & Company, 2025a; 2025d). Bu platformlar, Ar-Ge ve inovasyon bağlamında;

- Farklı departmanlara özel ajanların birlikte çalışmasını,
- Harici veri kaynakları (bilimsel veri tabanları, patent ofisleri, pazar verileri) ile entegrasyonu,
- Güvenlik, veri gizliliği ve erişim yetkilerinin merkezi yönetimini mümkün kılmaktadır.

Böylece Ar-Ge süreçleri, beşinci ve altıncı nesil inovasyon süreçlerinin tarif ettiği ağ-tabanlı, bütünlük ve öğrenen sistemlere doğru evrilmektedir (Rothwell, 1994; Callaghan, 2019).

5.4. İnsan-Döngüde (Human-in-the-Loop) Kontrol Mekanizmaları

Ar-Ge gibi kritik alanlarda, ajanların öneri ve eylemlerinin insan denetiminden geçmesi önemlidir. Bu nedenle birçok uygulama, insan-döngüde (human-in-the-loop) yaklaşımlarını benimsemektedir. Örneğin Ar-Ge teşvik belgeleri için dokümantasyon üreten ajan sistemlerinde, ajanlar ön taslakları hazırlarken uzmanlar bunları doğrulamakta, düzeltmekte ve nihai sorumluluğu üstlenmektedir (AutoDoc AI, 2025).

Bu yaklaşım, hem verimlilik artışı sağlar hem de etik ve hukuki açıdan kabul edilebilir bir denge noktası sunar (McKinsey & Company, 2025a; Xi et al., 2025).

6. Uygulama Senaryoları ve Kullanım Alanları

6.1. Üniversite-Sanayi İşbirliği Projelerinde Ajan Kullanımı

Üniversite-sanayi işbirliği projeleri, çoğunlukla yoğun literatür taraması, patent incelemesi, mevzuat takibi ve çok paydaşlı koordinasyon gerektirir.

Ajanlar;

- Proje başlangıcında literatür ve patent haritası çıkarmak,
- Fon çağrılarını izleyip uygun proje fırsatlarını araştırmacılara bildirmek,
- Proje bitiminde etki analiz raporlarını ve Ar-Ge çıktıları envanterini hazırlamak gibi görevleri yerine getirebilir (AutoDoc AI, 2025; Wang et al., 2024).

Böylece akademik araştırmacılar ve sanayi ortakları, daha çok tasarım, deney ve yorumlama aşamalarına odaklanmaktadır.

6.2. KOBİ'lerde Düşük Maliyetli İnovasyon Asistanları

Küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler), genellikle sınırlı Ar-Ge kapasitesine sahiptir ve profesyonel Ar-Ge personeli istihdam etmekte zorlanabilir. Bulut tabanlı YZ ajanları, KOBİ'lere:

- Mevcut üretim süreçlerinde verimlilik artırıcı fikirler önermek,
- Yeni ürün fikirleri için pazar ve rakip taraması yapmak,

- Devlet destekli Ar-Ge ve inovasyon programları hakkında bilgi vermek ve başvuru dokümanlarını hazırlamaya yardım etmek gibi işlevlerle destek olabilir (von Hippel, 2005; Chesbrough & Bogers, 2014).

Böylece ajanlar, “demokratikleştirici Ar-Ge destekleri” sağlayarak inovasyonun tabana yayılmasına katkı sunabilmektedir.

6.3. Sağlık, Enerji ve Üretim Sektörlerinde Ajan Destekli Ar-Ge

Sağlık: Tanı algoritmalarının geliştirilmesi, klinik karar destek sistemleri, ilaç keşfi ve klinik çalışma tasarımı gibi alanlarda ajanlar; literatür tarama, veri analizi ve hipotez ön eleme görevlerini üstlenebilir (Wang et al., 2024; Xi et al., 2025).

Enerji: Yenilenebilir enerji sistemlerinde performans optimizasyonu, şebeke yönetimi ve talep tahmini için simülasyon ve optimizasyon ajanları kullanılabilir (Tobias et al., 2025).

Üretim: Akıllı fabrikalarda süreç parametrelerini izleyen ve sürekli iyileştirme fırsatlarını belirleyen ajanlar, inovasyonun içselleşmesine katkı sağlar; bu, Rothwell’in (1994) beşinci nesil inovasyon modeli ve Callaghan’ın (2019) bu modeli altıncı nesil tartışmalarla genişleten katkılarıyla uyumludur.

Bu örnekler, ajanik YZ’nin yalnızca bilgi sektörlerinde değil, fiziksel üretim ve altyapı sektörlerinde de Ar-Ge süreçlerini dönüştürdüğünü göstermektedir.

6.4. Açık İnovasyon Platformları ve Çoklu Ajan Ekosistemleri

Açık inovasyon platformları, farklı kurum ve bireylerin çözüm önerileri, proje fikirleri ve prototipler sunduğu dijital ortamlar hâline gelmiştir (Chesbrough, 2003; Chesbrough & Bogers, 2014). Bu platformlara entegre edilecek ajanlar;

- Problem tanımlarını doğal dille analiz edip uygun çözüm çağrılarına eşleme,
- Katılımcıların geçmiş çalışmalarını tarayarak uzmanlık profilleri çıkarma,
- Önerilen çözümleri belirli metriklere göre otomatik ön-değerlendirmeden geçirme gibi işlevlerle platformun ölçeklenebilirliğini artırabilir.

Böylece yüzlerce veya binlerce başvuruyu manuel incelemek yerine, insan jüriye en umut verici adaylar önceden sıralanmış olarak sunulabilir (McKinsey & Company, 2025b; 2025c).

7. Fırsatlar, Riskler ve Etik Boyut

7.1. Fırsatlar: Hız, Maliyet ve Kapasite Artışı

Yapay zekâ ajanlarının Ar-Ge ve inovasyon süreçlerine entegrasyonu çok sayıda avantaj sunmaktadır:

1. Hızlanmış inovasyon döngüleri: Deney tasarımı, veri analizi, raporlama ve dokümantasyon gibi aşamalarda ciddi zaman tasarrufu sağlanabilir (Tom et al., 2024; Kim, 2025).
2. Maliyet azaltımı: Rutin bilişsel işlerin otomasyonu, Ar-Ge personelinin zamanını daha yaratıcı görevlere kaydırarak etkinliği artırır (McKinsey & Company, 2025a; 2025d).
3. Kapasite genişlemesi: Kısıtlı insan kaynağına sahip kurumlar, ajanlar aracılığıyla daha geniş veri setlerini işleyebilir, daha çok hipotez test edebilir ve daha fazla proje yürütebilir (Wang et al., 2024).
4. Kurumsal hafızanın güçlenmesi: Ajanlar, geçmiş projeler, raporlar ve deney sonuçları üzerinde sürekli “öğrenme” sağlayarak kurumsal bilgi yönetimini destekler (SciSpot, 2025; AutoDoc AI, 2025).

Bu avantajlar, inovasyonun hem hızını hem de erişilebilirliğini artırarak Schumpeterci anlamda rekabetçi dinamikleri keskinleştirmektedir (Schumpeter, 2008; Callegari & Nybakk, 2022). Özellikle sağlık sektöründe yapay zekâ temelli sistemlerin ekonomik etkinlik ve dijital dönüşüm kapasitesini artırmasıyla daha görünür hâle gelmektedir (Karahüseyinoğlu, 2024a)

7.2. Riskler: Şeffaflık, Güvenilirlik ve Bağımlılık

Bununla birlikte ajanik YZ kullanımının önemli riskleri vardır:

- Şeffaflık ve açıklanabilirlik: LLM tabanlı ajanların karar süreçleri çoğu zaman “kara kutu” niteliğindedir; bu durum, özellikle güvenlik kritik Ar-Ge alanlarında sorun yaratabilir (Wang et al., 2024; Xi et al., 2025).
- Hallüsinasyon ve hata: Ajanlar, gerçekte olmayan literatür referansları üretme veya verileri yanlış yorumlama riski taşır. Bu nedenle insan-döngüde denetimin kaldırılması tehlikelidir (Weng, 2023).
- Aşırı otomasyona bağımlılık: Araştırmacıların sorgulayıcı ve eleştirel düşünme becerilerinin zamanla zayıflaması, ajan önerilerine “otomatik” güven duyulması riski vardır (McKinsey & Company, 2025a).

- Veri gizliliği ve fikrî mülkiyet: Bulut tabanlı ajanların kullanımı, hassas Ar-Ge verilerinin üçüncü taraf sistemlere aktarılması anlamına gelebilir; bu da fikrî mülkiyet ihlalleri ve veri sızıntıları açısından dikkat gerektirir (AutoDoc AI, 2025; SciSpot, 2025).

7.3. Etik Çerçeve ve Yönetişim

Bu risklerin yönetilebilmesi için, kurumların ajan kullanımı için açık etik ilkeler ve yönetim mekanizmaları geliştirmesi gerekir. Bunlar arasında;

Ajanların yetki sınırlarının açıkça tanımlanması,

- Kritik kararlar için zorunlu insan onayı,
- Veri minimizasyonu ve anonimleştirme ilkelerinin uygulanması,
- Ajan davranışlarının düzenli denetlenmesi ve kaydedilmesi sayılabilir (McKinsey & Company, 2025a; Xi et al., 2025).

Bu bağlamda ajanik YZ stratejilerinin, sadece teknoloji birimlerinin inisiyatifine bırakılmaması; üst yönetim, hukuk, etik kurulları ve alan uzmanlarının birlikte tasarladığı kurumsal politikalara dayanması önemlidir. Böyle bir yönetim çerçevesi, ajanik YZ'nin inovasyonu hızlandırırken toplumsal güveni zedelememesini güvence altına alabilir.

8. Geleceğe Bakış: Yapay Zekâ Ajanlı Ar-Ge Mimarileri

8.1. Self-Driving Labs ve Otonom Deney Akışları

Kimya, malzeme bilimi ve biyoteknoloji gibi alanlarda self-driving labs konsepti, Ar-Ge'nin geleceğine dair çarpıcı bir örnek sunmaktadır. Bu laboratuvarlarda ajanlar; hipotez üretimi, deney tasarımı, parametre seçimi ve sonuç değerlendirme döngülerini büyük ölçüde otonom biçimde yürütebilmektedir (Tom et al., 2024; Kim, 2025; Tobias et al., 2025).

Bu tür mimariler, Schumpeter'in vurguladığı yenilikçi kombinasyonların keşif sürecini hızlandırarak deneme-yanılma maliyetini düşürebilmektedir. Aynı zamanda Rothwell'in (1994) beşinci nesil inovasyon süreci ve Callaghan'ın (2019) bu modeli altıncı nesil tartışmalarla genişleten katkılarıyla uyumlu olarak, yüksek ağ bağlantılı, sürekli öğrenen ve geri beslemeli inovasyon sistemleri ortaya çıkarmaktadır.

8.2. Ajanik YZ ve Kurumsal Dönüşüm

Danışmanlık ve teknoloji şirketlerinin raporları, büyük kuruluşların ajanik YZ'ye odaklanan özel birimler kurduğunu göstermektedir (McKinsey &

Company, 2025a; 2025d). Bu gelişmeler, Ar-Ge ve inovasyonun geleceğinde şu eğilimlere işaret etmektedir:

- Ar-Ge süreçlerinin ajan merkezli yeniden tasarımı,
- Ajanların iş akışı yönetim sistemleriyle derin entegrasyonu,
- Farklı tedarikçi ve platformlardan gelen ajanların birlikte çalıştığı “ajan ekosistemleri”,
- Ajanik YZ stratejilerinin kurumsal rekabet avantajının önemli bileşenlerinden biri hâline gelmesi.

Böyle bir bağlamda, ajanik YZ okuryazarlığı ve çoklu ajan orkestrasyonu, Ar-Ge profesyonellerinin temel yetkinlik alanlarından biri hâline gelebilir (Wang et al., 2024; Xi et al., 2025).

8.3. Politika Yapıcılar ve Akademi İçin Öneriler

Politika yapıcılar açısından, yapay zekâ ajanlı Ar-Ge’nin desteklenmesi;

- Ajan tabanlı Ar-Ge altyapı yatırımlarına teşvikler,
- Açık veri ve açık bilim politikalarının ajan ekosistemleriyle uyumlu tasarımı,
- Etik ve hukuki çerçevenin güncellenmesi gibi adımları gerektirir (Morrar, 2014; Teece, 2010).

Üniversiteler açısından ise;

- Öğrencilerin ajanlarla çalışmayı, ajan tasarımı ve ajan orkestrasyonunu öğrenebileceği müfredatlar geliştirmek,
- Ajan tabanlı araştırma altyapıları ve açık kaynak projeler oluşturmak,
- Ar-Ge projelerinde “ajan okuryazarlığı”nı yaygınlaştırmak kritiktir (Wooldridge, 2009; Wang et al., 2024).

Böylece üniversiteler, yalnızca ajanik YZ’nin nesnesi değil, aynı zamanda bu dönüşümün tasarımcısı ve eleştirel değerlendiricisi hâline gelebilir.

9. Sonuç

Bu bölümde, “İnovasyonun Görünmeyen Ekibi: Yapay Zekâ Ajanları ile Akıllı Ar-Ge” başlığı altında, yapay zekâ ajanlarının Ar-Ge ve inovasyon süreçlerindeki rolü, klasik inovasyon teorileri ve güncel ajanik YZ literatürü ışığında tartışılmıştır.

Özetle:

1. Klasik inovasyon modelleri, doğrusal akıştan zincir bağlantılı, sistemik ve açık inovasyon perspektiflerine evrilmiş; dijitalleşme ve veri odaklılık Ar-Ge'yi daha karmaşık ve çok aktörlü hâle getirmiştir (Kline & Rosenberg, 1986; Chesbrough, 2003; von Hippel, 2005; Morrar, 2014).
2. Yapay zekâ ajanları ve çoklu ajan sistemleri, bu karmaşıklığı yönetmek için güçlü araçlar sunmakta; literatür tarama, patent analizi, veri işleme, tasarım, simülasyon, test, dokümantasyon ve pazar analizi gibi Ar-Ge görevlerini destekleyebilmektedir (Wooldridge, 2009; Wang et al., 2024; AutoDoc AI, 2025).
3. LLM tabanlı ajanlar, doğal dil yetenekleri sayesinde Ar-Ge ekipleriyle etkileşimi kolaylaştırmakta; self-driving labs gibi örneklerde deney döngülerini ciddi biçimde hızlandırmaktadır (Tom et al., 2024; Kim, 2025; Tobias et al., 2025).
4. İnsan-ajan işbirliği, Ar-Ge'nin geleceğinde belirleyici olacaktır. Ajanlar, insanın yaratıcılık, sezgi ve etik yargı kapasitesini tamamlayan; bilişsel yükü azaltan ve kurumsal hafızayı güçlendiren “görünmeyen ekip üyeleri” olarak konumlanmaktadır (McKinsey & Company, 2025a; SciSpot, 2025).
5. Riskler ve etik meseleler, şeffaflık, güvenilirlik, veri gizliliği ve aşırı otomasyona bağımlılık ekseninde yoğunlaşmakta; bu nedenle ajan kullanımının güçlü bir yönetim çerçevesiyle düzenlenmesi gerekmektedir (Weng, 2023; Xi et al., 2025).
6. Politika yapıcılar, üniversiteler ve şirketler, ajanik YZ'yi sadece teknik bir araç olarak değil, inovasyon stratejilerinin merkezinde konumlandıran, insan odaklı ve etik temelli uzun vadeli yol haritaları geliştirmelidir (Teece, 2010; Chesbrough & Bogers, 2014; Callaghan, 2019).

Sonuç olarak yapay zekâ ajanları, ne tamamen görünmez büyücüler ne de insan aklının yerini alacak mutlak otoriteler olarak görülmelidir. Doğru tasarlandığında ve yönetildiğinde, inovasyonun hızını ve kalitesini artıran; Ar-Ge'nin sınırlarını genişleten akıllı ortaklardır. İnovasyonun geleceği, muhtemelen Schumpeter'in girişimci vizyonunu, Kline ve Rosenberg'in zincir bağlantılı modelini ve Chesbrough'nun açık inovasyon paradigmasını, ajanik YZ'nin sunduğu yeni olanaklarla birlikte yeniden yorumladığımız hibrit bir dünyada şekillenecektir.

Kaynakça

- AutoDoc AI. (2025). The future of R&D documentation: Multi-agent AI systems [Çevrimiçi rapor].
- Bush, V. (1945). Science: The endless frontier. A report to the President. Washington, DC: United States Government Printing Office.
- Callegari, B., & Nybakk, E. (2022). Schumpeterian theory and research on forestry innovation and entrepreneurship: The state of the art, issues and an agenda. *Forest Policy and Economics*, 138, 102720.
- Callaghan, C. W. (2019). Rothwell's augmented generations of innovation theory: Novel theoretical insights and a proposed research agenda. *South African Journal of Business Management*, 50(1), 1–8.
- Chesbrough, H. W. (2003). Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Chesbrough, H., & Bogers, M. (2014). Explicating open innovation: Clarifying an emerging paradigm for understanding innovation. In H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & J. West (Eds.), *New frontiers in open innovation* (pp. 3–28). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Gallouj, F., & Windrum, P. (2009). Services and services innovation. *Journal of Evolutionary Economics*, 19(2), 141–148.
- Karahüseyinoğlu, F. (2024). Artificial intelligence in healthcare: Economic efficiency and digital transformation. Hattusas 1st International Conference on Social Sciences.
- Karahüseyinoğlu, F. (2025). Medical error in e-health services: Global perspective. Selçuk 12th International Conference on Social Sciences.
- Kim, Y. (2025). Self-driving laboratories with artificial intelligence. *Computers in Industry*. Advance online publication.
- Kline, S. J., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In R. Landau & N. Rosenberg (Eds.), *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth* (pp. 275–305). Washington, DC: National Academy Press.
- McKinsey & Company. (2025a). Seizing the agentic AI advantage [Çevrimiçi rapor].
- McKinsey & Company. (2025b). The next innovation revolution—powered by AI [Çevrimiçi rapor].
- McKinsey & Company. (2025c). The state of AI in 2025: Agents, innovation, and transformation [Çevrimiçi rapor].
- McKinsey & Company. (2025d). Technology trends outlook 2025 [Çevrimiçi rapor].

- Morrar, R. (2014). Innovation in services: A literature review. *Technology Innovation Management Review*, 4(4), 6–14.
- Rothwell, R. (1994). Towards the fifth-generation innovation process. *International Marketing Review*, 11(1), 7–31.
- Schumpeter, J. A. (2008). *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle* (Original work published 1934). New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.
- SciSpot. (2025). AI-powered “self-driving” labs: Accelerating life science R&D [Çevrimiçi rapor].
- Teece, D. J. (2010). Business models, business strategy and innovation. *Long Range Planning*, 43(2–3), 172–194.
- Tobias, A. V., et al. (2025). Autonomous “self-driving” laboratories: A review of technology and applications. *Royal Society Open Science*, 12(5).
- Tom, G., et al. (2024). Self-driving laboratories for chemistry and materials science. *Chemical Reviews*. Advance online publication.
- Von Hippel, E. (2005). *Democratizing innovation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wang, L., et al. (2024). A survey on large language model based autonomous agents. *Frontiers of Computer Science*, 18(6), 186345.
- Weng, L. (2023, 23 Haziran). LLM powered autonomous agents. Lil’Log [Blog yazısı].
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems* (2nd ed.). Chichester, UK: Wiley.
- Xi, Z. H., et al. (2025). The rise and potential of large language model based agents. *Science China Information Sciences*, 68(11).