

## Sinir Bilim ve Yapay Zekâ

## Neuroscience and Artificial Intelligence

Sema Gül TÜRK\*<sup>1</sup>, Murat TERZİ<sup>2</sup>

Received / Geliş	18.06.2021
Accepted / Kabul	22.12.2021
Publication Date	26.04.2022

\*Sorumlu Yazar  
Corresponding Author

\*Sema Gül TÜRK  
<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi,  
Sağlık Bilimleri Fakültesi,  
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü,  
Samsun, Türkiye

ORCID iD: 0000-0002-8285-5541  
fztsmg12011@gmail.com

Murat TERZİ  
<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi,  
Tıp Fakültesi

ORCID iD: 0000-0002-3586-9115

## ÖZET

Yapay zekâ gelişimi, sinir sisteminin işleyişinin matematiksel bir sisteme aktarılması ile başlamıştır. İnsan beynindeki hafıza, bilişsel işlevler ve öğrenme fonksiyonlarını inceleyen bilim dalı olan sinir bilimleri alanında her geçen gün çalışmalar yeni keşifler ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların en önemli destekçisi yine teknolojidir. Tüm dünyada yirmi birinci yüzyıl başlarından itibaren teknoloji destekli sinir bilim çalışmaları ile sinir sistemi daha iyi anlaşılmıştır. Bu sayede yapay zekâdaki gelişmeler de hız kazanmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Sinir Bilim, Yapay Zekâ*

## ABSTRACT

The development of artificial intelligence began with the transfer of the functioning of the nervous system to a mathematical system. Every day, studies in the field of neuroscience, which is the science that examines memory, cognitive functions and learning functions in the human brain, reveal new discoveries. The most important supporter of these studies is again technology. The nervous system has been better understood with technology-supported neuroscience studies since the beginning of the twenty-first century all over the world. In this way, developments in artificial intelligence have also accelerated.

*Key Words: Neuroscience, Artificial Intelligence*

## GİRİŞ

Yapay zekâ tarihçesine bakıldığında sinir bilimi ve yapay zekâ arasında güçlü bağlantılar olduğu net bir şekilde görülebilir. Birçok öncü yapay zekâ bilimcisi aynı zamanda alanında başarılı sinir bilimcilerdir. İnsan beynindeki nöronal ağların ve bağlantıların keşfedilmesi yapay sinir ağına ilham vererek yapay zekânın bugüne gelmesinin temellerini oluşturmuştur (1).

Yapay zekâ başlangıçtan itibaren sinir bilim içerisinde gelişim göstermiştir ve gösterecektir. 20. yüzyılın başında araştırmacılar, mikroskobun gelişmesi ile sinir sistemindeki nöronlar arasındaki bağlantıları gözlemleyerek, nöronal bağlantı mekanizmalarını bilime kazandırmıştır. Bu sayede bilgisayar bilimcileri, yapay zekâ tarihindeki en eski ve en başarılı modellerden biri olan yapay sinir ağını geliştirmiş ve 1949'da en eski öğrenme algoritmalarından biri olan Hebbian öğrenimi önerilerek önemli bir çağ atlanmıştır (1).

Sinir Bilimleri alanında özellikle son yıllarda artarak ortaya çıkan teknolojik gelişmeler yapay zekânın çeşitli alanlarına ilham vermiştir. Elektronik dedektörler kullanılarak keşfedilen beynin evrişim özelliği ve çok katmanlı yapısı, evrişimli sinir ağına ve derin öğrenmeye (2), pozitron emisyon tomografisi (PET) görüntüleme sistemi kullanılarak keşfedilen dikkat mekanizması dikkat modülüne, fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG) sonuçlarından keşfedilen çalışma belleği, uzun kısa süreli belleğin (long short term memory LSTM) geliştirilmesine yol açan makine öğrenimi modellerindeki bellek modülüne (3), iki fotonlu görüntüleme sistemleri kullanılarak keşfedilen öğrenme sırasında omurgada meydana gelen değişiklikler, sürekli öğrenme için elastik ağırlık konsolidasyonu (elastic weight consolidation EWC) modeline (4) esin kaynağı olmuştur.

Yapay zekâ ve sinir bilimi alanındaki gelişme ve araştırmalar arasındaki bağlantı az gibi görünse de; sinir biliminden elde edilen sonuçlar, nöropsikoloji ilkeleriyle ilgili önemli sonuçları ortaya koymakta ve bu da yapay zekâda önemli teorik ve teknolojik atılımlara yol açmaktadır. Özellikle son dönemlerde teknolojinin hızla geliştiği süreçleri takip ederken; doğrudan sinir biliminden ilham alan derin öğrenme süreçlerini de keşfetmekteyiz. Sinir biliminde artan araştırma bulgularının ve teknoloji destekli keşiflerin; yeni derin öğrenme modlarında çığır açması beklenmektedir. yapay zekâ alanında bundan sonraki atılımlar, sinir bilimleri alanındaki gelişmeler doğrultusunda önemli gelişmeler gösterecektir.

Yapay zekânın amacı, teorileri araştırmak ve algılayıcılar, tanıma, karar verme ve kontrol gibi işlevlerle biyolojik veya insan zekâsı gerektiren görevleri yerine getirebilen bilgisayar sistemleri geliştirmektir (5). Sinir bilimin amacı ise, beynin bilgiyi nasıl işlediği, kararlar verdiği ve çevre ile nasıl etki-leştiği gibi biyolojik beynin yapılarını, işlevlerini ve çalış-

ma mekanizmalarını incelemektir (6). Yapay zekânın, beyin zekâsının simülasyonu olarak kabul edilebileceği öngörülebilir. Bu nedenle, yapay zekâ geliştiriminin önemli bir yolu, onu sinir bilim, biliş bilimi ve psikoloji gibi ilgili alanlarla birleştirmektir. Aslında, sinir bilimindeki sağlam geçmişi sayesinde Alan Turing (7), Marvin Minsky ve Seymour Papert (8), John McCarthy (9,10) gibi birçok yapay zekâ öncüsü, her iki alana da ilgi duymuş ve yapay zekâyâ büyük katkıda bulunmuştur. Bu katkılar günümüz yapay zekâ atılımlarının da öncüsü olmuştur. Sağlık alanında gerçekleştirilen yapay zekâ teknolojik gelişmeleri ise birbirini besleyen bir döngü oluşturarak sinir bilimin keşiflerini artırmış ve yapay zekâ'yı güçlendirmiştir. Bu döngüden yola çıkarsak yapay zekâ'nin çığ gibi büyüyen ve hızlı gelişen bir teknoloji olması önümüzdeki on yıl için beklenen bir süreçtir.

Yapay zekâ üzerine araştırmalar, akıllı “düşünme” makineleri inşa etme amacıyla modern bilgisayarların ortaya çıkmasından hemen sonra başlamıştır. Geleneksel makine öğrenimi teknikleri, doğal verileri ham hallerinde işleme yetenekleri açısından sınırlı kalmaktadır. On yıllardır, bir örüntü tanıma veya makine öğrenimi sistemi oluşturmak, ham verileri (bir görüntünün piksel değerleri gibi) uygun bir dahili temsile veya özellik vektörüne dönüştüren bir özellik çıkarıcı tasarlamak için iyi bir mühendislik ve alan uzmanlığı gerektirmektedir. Genellikle bir sınıflandırıcı olan öğrenme alt sistemi, girdideki kalıpları algılayabilir veya sınıflandırabilir. Bu sınıflandırma ve tasarlama süreçleri düşünme sistemleri ile ilişkilendirilebilir.

Hebbian öğrenimi, doğrudan biyolojik sinir sistemlerinin dinamiklerinden esinlenmiştir. Özellikle, iki nöron arasındaki sinapsın her iki tarafındaki nöronlar (giriş ve çıkış) yüksek oranda ilişkili çıktılara sahip olduğunda güçlendirildiği gözlemine dayanarak, Hebbian öğrenme algoritması, yüksek düzeyde korelasyonlu olmaları durumunda iki nöron arasındaki bağlantı ağırlığını artırır. Yani iki sinir hücresinin aynı anda tetiklenmesi (aktif hale getirilmesi) halinde aralarındaki bağlantıların güçleneceğine ilişkin kuralıdır. Bu gelişmeden sonra, yapay sinir ağları araştırmacılarından önemli ölçüde araştırma ilgisi görmüştür. Temsili bir çalışma, beyindeki bilgi depolama ve organizasyonunu doğrudan modelleyen algılayıcıydı (6). Algılayıcı, çok katmanlı ağın temelini oluşturan çok boyutlu bir girdiye sahip tek katmanlı bir yapay sinir ağıdır.

Hubble ve Wiesel'in Nobel almasını sağlayan çalışmasında; memeli görsel korteksinden alınan tek hücreli kayıtlar, görsel girdilerin V1 alanındaki basit ve karmaşık hücrelerde nasıl filtrelendiğini ve havuzlandığını ortaya çıkarmıştır. Bu araştırma, beyindeki görsel işleme sisteminin evrişimli işlemler gerçekleştirdiğini ve çok katmanlı bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Biyolojik sistemlerin, ham görsel girdileri giderek daha karmaşık bir özellik kümesine dönüştürmek

için doğrusal olmayan hesaplamalarla ardışık katmanları kullandığını ve böylece görme sistemini tanıma görevi sırasında görsel girdilerdeki poz ve ölçek gibi dönüşümlerle değişmez hale getirdiğini belirtti. Bu gözlemler, yakın zamanda çıkarılan derin öğrenme tekniğinin (7) temel modeli olan evrişimli sinir ağına (8,9) doğrudan ilham vermiştir.

Doğal sinyallerin özelliklerinden yararlanan evrişimli sinir ağlarının arkasında dört temel fikir vardır; yerel bağlantılar, paylaşılan ağırlıklar, havuzlama ve birçok katmanın kullanımı.

Bir özellik haritasındaki tüm birimler aynı filtre kümesini paylaşır. Bir katmandaki farklı özellik haritaları, farklı filtre kümeleri kullanır. Bu mimarinin nedeni iki yönlüdür. Birincisi, görüntüler gibi dizi verilerinde, yerel değer grupları genellikle yüksek düzeyde ilişkilidir ve kolayca tespit edilebilen farklı yerel motifler oluşturur. İkinci olarak, görüntülerin ve diğer sinyallerin yerel istatistikleri, konuma göre değişmez. Başka bir deyişle, bir motif görüntünün bir bölümünde görünebiliyorsa, herhangi bir yerde görünebilir, dolayısıyla aynı ağırlıkları paylaşan ve dizinin farklı bölümlerinde aynı modeli tespit eden farklı konumlardaki birimler fikri ortaya çıkar. Matematiksel olarak, bir özellik haritası tarafından gerçekleştirilen filtreleme işlemi, ayrık bir evrişimdir (10).

Derin sinir ağları, birçok doğal sinyalin, daha düşük seviyeli olanları oluşturarak daha yüksek seviyeli özelliklerin elde edildiği bileşimsel hiyerarşiler olma özelliğinden yararlanır. Görüntülerde, yerel kenar kombinasyonları motifler oluşturur, motifler parçalar halinde birleşir ve parçalar nesnelere oluşturur. Seslerden telefonlara, ses birimlerine, hecelere, sözcüklere ve cümlelere kadar konuşma ve metinde benzer hiyerarşiler vardır. Havuzlama, önceki katmandaki elemanların konumu ve görünümü değiştiğinde temsillerin çok az değişmesine izin verir (10). Evrişimli sinir ağlarındaki, evrişimli ve havuz katmanları, görsel sinir bilimdeki basit hücreler ve karmaşık hücrelerin klasik kavramlarından doğrudan esinlenmiştir ve genel mimari, görsel korteks ventral yolundaki lateral genikulus nükleus hiyerarşisini anımsatmaktadır. Evrişimli sinir ağı modelleri ve maymunlara aynı resim gösterildiğinde, evrişimli sinir ağındaki yüksek seviyeli birimlerin aktivasyonları, maymunun inferotemporal korteksindeki rastgele 160 nöron kümesinin varyantının yarısını açıklar. Yapay sinir ağlarının ve derin öğrenmenin bir diğer önemli bileşeni, bir ağıdaki parametrelerin veya ağırlıkların nasıl ayarlanacağı sorununu ele alan geri yayılma algoritmasıdır (11). İlginç bir şekilde, geri yayılmanın temel fikri ilk olarak 1980'lerde bilgisayar bilimcileri veya makine öğrenimi araştırmacıları yerine sinir bilimciler ve bilişsel bilimciler tarafından önerildi. Bilim adamları, sinir sistemlerinin mikro yapılarının ve biyolojik beynin sinir sisteminin, hatayı en aza indirmek ve çıktının ödülünü en üst düzeye çıkarmak amacıyla bir öğrenme prosedürü kullanılarak kademeli ola-

rak ayarlandığını gözlemlemişlerdir Dikkat mekanizması ilk olarak 1890'larda psikolojik bir kavram olarak tanıtılmıştır. Akıllı bir ajanın biliş sürecini iyileştirmek için - tüm bilgiye odaklanmak yerine - bilginin belirli önemli kısımlarına seçici olarak konsantre olacağı şekilde tasarlanmıştır (12).

1999'da PET ve diğer ileri görüntüleme teknolojileri, beyindeki seçici dikkati incelemek için kullanılarak (13) beyindeki dikkat mekanizması hakkında daha fazla şey keşfetmiştir (14). Biyolojik bir beyindeki dikkat mekanizmasından ilham alan yapay zekâ araştırmacıları, dikkat modüllerini zamansal (15) veya uzamsal yollarla yapay sinir ağlarına dahil etmeye başlamışlar, bu da sırasıyla doğal dil işleme ve bilgisayar görüşü için derin sinir ağlarının performansını artırmıştır. Bir dikkat modülü ile ağ, seçici olarak önemli nesnelere veya kelimelere odaklanabilir ve ilgisiz olanları yok sayabilir, böylece eğitim ve çıkarımsal süreçleri geleneksel bir derin ağdan daha verimli hale getirebilir.

Sinir bilim, geleneksel yapay zekâ yaklaşımlarına büyük ölçüde hakim olan matematiksel ve mantık temelli yöntemlerden ve fikirlerden bağımsız ve bunları tamamlayan yeni tür algoritmalar ve mimariler için zengin bir ilham kaynağı sağlar. Sinir bilim ile beynin gizemi çözülürken yapay zekâ için de yeni ufuklar açılmış olacaktır ve olmaktadır. Örneğin, bir bilişsel işlevi desteklemek için kritik olan biyolojik hesaplamanın yeni bir yönü olsaydı, bunu yapay sistemlere dahil etmek için mükemmel bir aday olarak görürdük. Sinir bilim zaten var olan yapay zekâ tekniklerinin doğrulanmasını sağlayabilir. Bilinen bir algoritmanın daha sonra beyinde uygulandığı bulunursa, bu, genel bir genel zekâ sisteminin ayrılmaz bir bileşeni olarak akla yatkınlığını güçlü bir şekilde destekler. Bu tür ipuçları, kaynakların en verimli şekilde nereye tahsis edileceğini belirlerken uzun vadeli bir araştırma programı için kritik olabilir. Örneğin, bir algoritma istenen veya beklenen performans düzeyine tam olarak ulaşmıyorsa, ancak bunun beynin işleyişinin özü olduğunu gözlemliyorsak, yapay sistemlerde çalışmasını sağlamaya yönelik iki katına çıkan mühendislik çabalarının muhtemelen karşılığını alacağımızı öngörebiliriz (16).

Yapay zekâ ile ilgili yapılan çalışmalarda sinir sistemini tamamen kopya etmek temel amaç değildir. İlgilendiğimiz şey, beynin kullandığı algoritmalar, mimariler, işlevler ve temsiller gibi sistem sinir bilimi düzeyinde bir anlayıştır. Bu kabaca, Marr'ın herhangi bir karmaşık biyolojik sistemi anlamak için gerekli olduğunu belirttiği üç analiz seviyesinin en üstteki iki seviyesine karşılık gelir. Algoritmik seviye ve uygulama seviyesi anlaşıldığında yapay zekâ sistemlerine yeterli veri sağlanmış olacaktır (17).

Sinir biliminin üzerinde çalıştığı en önemli konulardan biri öğrenmedir. İnsan beyni anne karnından başlayan ve ömür boyu devam eden bir öğrenme döngüsü içerisindedir.

Tecrübeler ve duyular ile elde edilen bilgiler beyne bilgi aktaran önemli veri kaynaklarıdır. Beyin bu veri kaynaklarından elde edilen bilgileri süzgecinden geçirip ilgili beyin bölgelerinde kaydetmektedir. İşitme, görme, duyma, tatma, ağrı, ısı gibi pek çok bilgi ilgili beyin bölgelerinde kaydedilmekte ve ihtiyaç duyulduğunda bu bilgilere başvurularak olaylar ve gelişmeler karşısında verilmesi gereken uygun çıktılara dönüştürülmektedir. Olaylar karşısında verilmesi gereken tepkilere emosyonel duygu da yine beyin tarafından katılmaktadır. Yapay zekâ alanındaki gelişmeler de beynin bu öğrenme modeline göre gelişmektedir. Veriler aktarılacak ve bu veriler arasındaki ilişki ve uygun çıktılar neler olabileceği öğretilerek yapay zekâ geliştirilmektedir. Beynin konuşma, görme, duyma, bellek gibi alanları bu fonksiyonlar için özelleştirilmiştir. Bu alanların gelişimsel bozukluklarına veya sonradan gelişen patolojik süreçlere bağlı olarak bu fonksiyonlarda kayıp görülebilmektedir. Bu tür patolojik süreçlerde uygun nörorehabilitasyon programları ile beynin bu fonksiyonları olabildiğince öğrenmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Yapay zekâ örneklerinde olduğu gibi hangi fonksiyonda veri yetersizse bu alanda daha çok veri sağlanmaya ve bu bilgiler uygun çıktılara dönüştürülmeye çalışılmaktadır. Beynin gelişimi ile nörodejenerasyonu da paralel bir şekilde görülmektedir. Yaş ile uyumlu unutkanlık ve ileri nörodejenerasyon sonrası ortaya çıkan demans tabloları, öğrenilmiş bilginin bu patolojik süreçler sonrası kaybı ile görülmektedir. Bu durumda beyne yeni bilgi aktarımı güçleşebilmekte ve beyin yeni bilgi kabul etmeyebilmektedir. Yapay zekâ alanındaki çalışmalarda makine öğrenme sürecinde aktarılan bilgiler zaman geçtikçe beyinde olduğu gibi dejenere olmayabilir ve bilgi aktarımı süreklilik kazanabilir. Yine yapay zekâ modellerinde zamanla var olan bilgi havuzunda eksilme görülmeyebilir. Bu açıdan bakıldığında makine öğrenmesi ile gelecek yıllarda var olan bilginin gittikçe arttığı, zaman geçse de unutulmadığı modellerin gelişeceği bir gerçektir. Yapay zekâ alanındaki gelişmelerde önemli olan, yıllar geçse de hep var olacak bu verilerin ve modellerin çıktılarının sağlıklı bir süreçle yürütülebilmesidir. Beynin verdiği emosyonel çıktılarının makine öğrenmesi ile sağlanması ise gelecek yıllarda yapay zekânın üzerinde çalışacağı önemli konulardan biri olacaktır. Tüm bu açılardan bakıldığında, sinir bilimi ile uğraşan bilim insanlarının yapay zekâ alanındaki çalışmaların içerisinde olmasının bu alandaki gelişmelerin şekillenmesinde, bundan önceki yıllarda olduğu gibi bundan sonra da önemli katkı sağlayacağı bir gerçektir.

Araştırmacılar biyolojik beyinlerdeki çalışma belleğini incelemek için PET ve fMRI vesilesiyle beyindeki prefrontal korteksin önemli bir parça olduğunu bulmuşlardır (18). Yapay zekâ araştırmacıları, sinir biliminin çalışan bellek araştırmalarından esinlenerek, bir bellek modülünü makine öğrenimi modellerine dahil etmeye çalıştılar. Temsili bir yöntem,

doğal dil işleme, videoyu anlama ve zaman serisi analizi gibi birçok sıralı işleme görevinin temelini oluşturan LSTM'dir (9). Yakın zamanda yapılan bir çalışma, çalışan bir bellek modülüyle, bir modelin, belirli noktalar arasındaki en kısa yolu bulma ve rastgele oluşturulmuş grafiklerdeki eksik bağları çıkarma gibi karmaşık muhakeme ve çıkarım görevlerini yerine getirebileceğini göstermiştir (18). Önceki bilgileri hatırlayarak, yeni bir kavramı öğrenmek için sadece birkaç etiketli örnek gerektiren tek adımlı öğrenme gerçekleştirilebilir (19).

Sinir bilimi, beynin işleyişini konu alan; bilişsel sinir bilimi, sistem sinir bilimi gibi beynin çalışmasıyla ilgili tüm alanları, ürettiği davranışları ve bunu yaptığı mekanizmaları içermektedir. Yapay zekâ ise, makine öğrenimi, istatistik ve akıllı makineler inşa etmeyi amaçlayan yapay zekâ araştırmalarındaki çalışmaları öncelik olarak görmektedir (20). Zekâ kavramının alt başlıklarına bakıldığında uzun süreli bellek, belleğin sınıflandırılabilme yeteneği, farkındalık ve bilinçlilik durumu, anlama ve karşı tarafa anladığını veya zihnindeki düşüncüyü aktarabilme yeteneğini sayabilmektedir.

Sinir bilimleri ve yapay zekâ arasındaki etkileşim bundan sonra da artarak devam edecektir. Sinir bilimleri alanındaki gelişmeler sayesinde yapay zekâ alanındaki ürün ve çıktıların hem teorik hem de pratik yansımaları çok daha efektif olacaktır. Hızla gelişme gösteren bu iki alanın ortak çalışmalarda buluşması, elde edilen sonuçların akademik alandaki etkisini ve toplum yararına olan katkısını arttıracaktır. Hızla ilerleyen bu iki alanda dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biri gelişmelerin etik ilkeler çerçevesinde olabilmesidir. İnsan beyninin robotlaşması veya makineye öğretilmesi sürecinde toplum ve bilim yararına gelişmelerin olabilmesi ancak etik ilkelere bağlı kalındığında mümkün olacaktır. Aksi takdirde ilerleyen zamanlarda robotlaşan insan beyninin kendi gelişimini ve ürünlerini geliştirmesi sürecinde olumsuz çıktılarının olabileceği düşünülebilir. Sinir bilimi ve yapay zekâ ile uğraşan bilim insanlarının bu etik kurallar çerçevesinde çalışmalarını yürütmesi ile daha sağlıklı bir yapay zekâ gelişimi sağlanarak bu risk en aza indirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Russell S, and Norvig P, Artificial intelligence: a modern approach, 4th ed., Pearson, 2002. p. 32-60.
2. Turing AM, Computing machinery and intelligence, in Parsing the turing test. Springer. 2009. p. 23-65.
3. Hochreiter S, and Schmidhuber J, Long Short-Term Memory. Neural Computation, p. 1735-1780. 1997. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735
4. Hinton GE, et al. "Distributed Representations." The Philosophy of Artificial Intelligence 1990.
5. Morris RG, Hebb DO, The Organization of Behavior, Vol. 65. Wiley: New York; 1949. doi:10.1016/s0361-9230(99)00182-3
6. Rosenblatt F, The perceptron: a probabilistic model for informa-

- tion storage and organization in the brain. Psychological review, 65(6), 1958. p. 386. <https://doi.org/10.1037/h0042519>
7. Hubel DH, Wiesel TN, Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex, Brain Physiology and Psychology. University of California Press. 2020. p. 129-150. doi:10.1113/jphysiol.1959.sp006308
  8. LeCun Y, et al., Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. Neural computation, 1989. 1(4): p. 541-551.
  9. Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE, Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in neural information processing systems, 2012. 25: p. 1097-1105. doi: 10.1145/3065386
  10. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G, Deep learning. nature, 2015. 521(7553): p. 436-444.
  11. Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ, Learning internal representations by error propagation, California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science. 1986. <https://doi.org/10.1038/323533a0>
  12. James W, The principles of psychology. Vol. 1. Cosimo, Inc. 2007. p. 40-72.
  13. Raichle ME, Positron emission tomography. Annual review of neuroscience, 1983. 6(1): p. 249-267.
  14. Scolarì M, Seidl-Rathkopf KN, Kastner S, Functions of the human frontoparietal attention network: Evidence from neuroimaging. Current opinion in behavioral sciences, 2015. 1: p. 32-39.
  15. Bahdanau D, Cho K, Bengio Y, Neural machine translation by jointly learning to align and translate. arXiv preprint arXiv:1409.0473, 2014.
  16. Hassabis D, et al., Neuroscience-Inspired Artificial Intelligence. Neuron, 2017. 95(2): p. 245-258. doi:10.1016/j.neuron.2017.06.011
  17. Marr D, and Poggio T, From understanding computation to understanding neural circuitry. 1976.
  18. Graves A, et al., Hybrid computing using a neural network with dynamic external memory. Nature, 2016. 538(7626): p. 471-476. <https://doi.org/10.1038/nature20101>
  19. Santoro A, et al., One-shot learning with memory-augmented neural networks. arXiv preprint arXiv:1605.06065, 2016.
  20. Legg S, Hutter M, A collection of definitions of intelligence. Frontiers in Artificial Intelligence and applications, 2007. 157: p. 17.
- Çıkar çatışması**  
Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması veya finansal destek bildirmemişlerdir.
- Finansman**  
Bu çalışmada finansal bir destek kullanılmamıştır.
- Teşekkürler**  
Bu çalışma herhangi bir yerde sunulmamıştır.
- Etik Onay**  
Derleme Makale olması nedeniyle etik onay alınmamıştır.
- Yazar Katkıları**  
Motivasyon / Konsept: MT, SGT
- Çalışma Tasarımı:** MT, SGT
- Kontrol / Gözetim:** MT
- Veri Toplanması ve / veya İşlemesi:** SGT
- Analiz ve / veya Yorum:** MT, SGT
- Literatür incelemesi:** SGT
- Makalenin Yazılması:** MT, SGT
- Eleştirel İnceleme:** MT
- Yazar Katkıları**  
Motivasyon / Konsept: MT, SGT  
Çalışma Tasarımı: MT, SGT  
Kontrol / Gözetim: MT  
Veri Toplanması ve / veya İşlemesi: SGT  
Analiz ve / veya Yorum: MT, SGT  
Literatür incelemesi: SGT
- Yazar Katkıları**  
Motivasyon / Konsept: MT, SGT  
Çalışma Tasarımı: MT, SGT  
Kontrol / Gözetim: MT  
Veri Toplanması ve / veya İşlemesi: SGT  
Analiz ve / veya Yorum: MT, SGT  
Literatür incelemesi: SGT