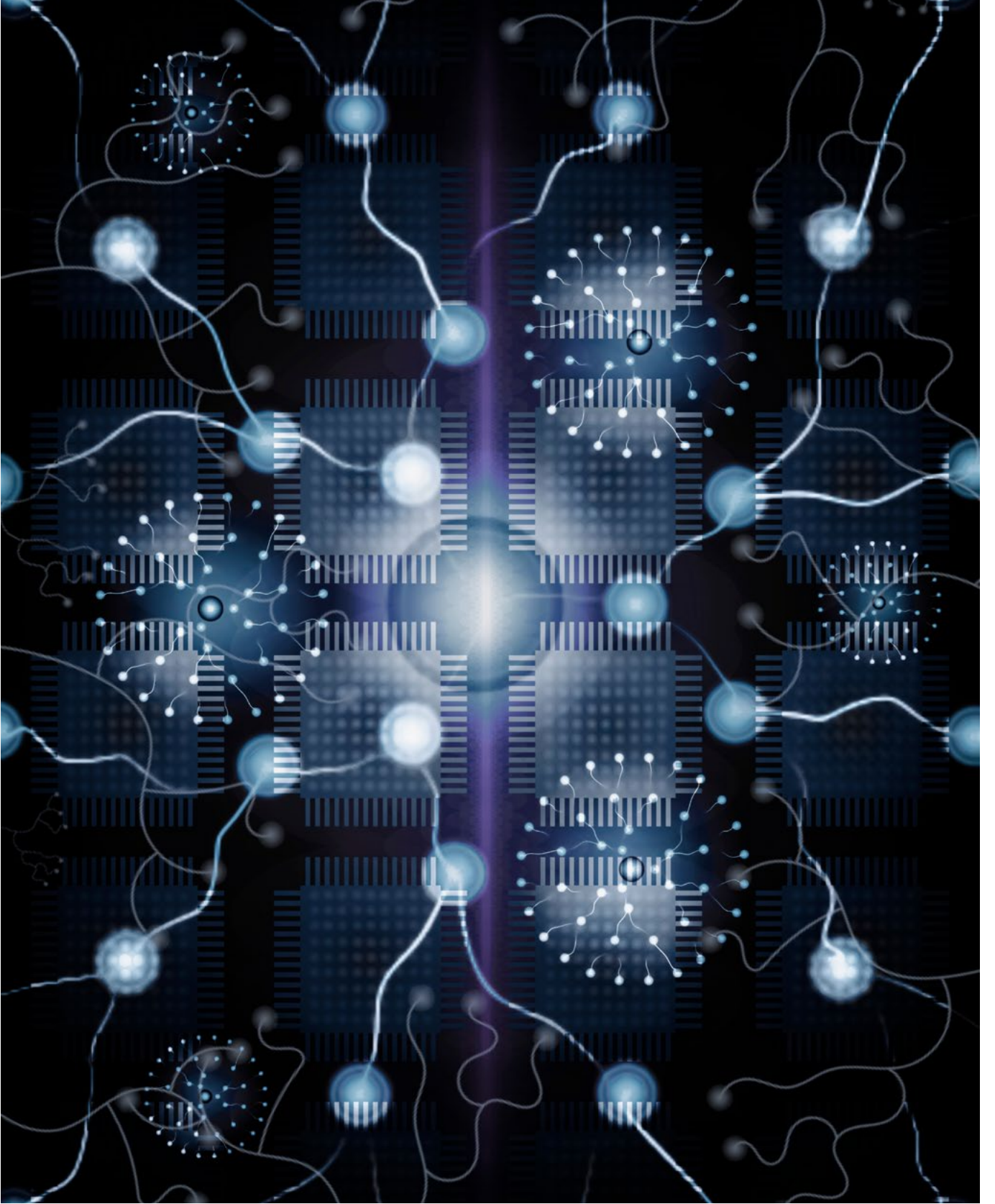


NÖROMORFİK İŞLEM TEKNOLOJİSİ

TREND ANALİZİ MART 2020



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.



1. GİRİŞ

2019'un Temmuz ayında bir grup yapay zekâ araştırmacısı, engeller arasında dolaşabilen, sürücüsünü takip edebilen, sesli komutlara cevap verebilen ve kendi kendine gidebilen bir bisiklet sergiledi. Bisikletin kendi kendine gitmesi çok önemli bir yenilik olmasa da kullanılan yapay zekâ teknolojisi dikkat çekiciydi. Çünkü bisiklete hareket kabiliyetini sağlayan, nöromorfik bir çip olan özel bir yapay zekâ bilgisayarıydı.

Nöromorfik işlem teknolojisi aslında yeni bir teknoloji değildir. Dünyanın en köklü donanımı olan insan beyninden esinlenen bu tasarım ilk olarak 1980'lerde önerilse de yapay zekâ endüstrisindeki son gelişmelerle nöromorfik bilgisayarlara olan ilgi yakın zamanda artmıştır.

Derin öğrenme ve sinir ağlarının artan popülaritesi, sinir ağı hesaplamaları için özelleştirilmiş yapay zekâ donanımı geliştirmek için bir yarış başlatmıştır. Son birkaç yılda ortaya çıkan bazı trendler arasında, biyolojik ve yapay sinir ağlarına benzerlikleri nedeniyle umut veren nöromorfik işlem teknolojisi de bulunmaktadır^[1].

Bu raporda işlemci teknolojisinde devrimci bir değişiklik yapabileceği düşünülen nöromorfik işlemlerin nasıl çalıştığına değinilerek, yapay zekâ ve makine öğrenmesiyle arasındaki bağlantıya dikkat çekilmiştir. Nöromorfik işlem teknolojisiyle ilgili son yıllarda artan çalışmalara da değinilerek geleceğe yönelik beklentiler ele alınmıştır.

2. NÖROMORFİK İŞLEM TEKNOLOJİSİ NEDİR?

İnsan beyninin, dünyanın en gelişmiş bilgisayarlarından çok daha güçlü olmasını sağlayan inanılmaz yetenekleri bulunmaktadır. Nöromorfik işlem teknolojisi analog devrelerle insan beyninin işlem şeklini taklit etmektedir. Bilgisayarlar çok güçlü ve kesin sonuçlar veren araçlar olsa da çalışma şekli incelendiğinde insan beyninin en iyi bilgisayarlardan bile daha güçlü olduğu görülmektedir.

Nöromorfik işlem teknolojisi aslında günümüz bilgisayarlarının işlemleriyle insan beyninin güçleri ve zayıflıkları arasındaki köprüyü temsil etmektedir. Bu teknoloji aslında bilgisayar bilimi, elektrik mühendisliği ve bilişsel nörobilimin bir noktada kesiştiği ve suni sinir ağları ile insan beyninin işlemlerini taklit eden işlemcilerin tasarlandığı bir disiplinlerarası alan olarak görülmektedir. Bu araştırmalarla çok daha güçlü ve enerji tasarruflu işlemcilerin yapılması planlanmaktadır. Yeni nesil yapay zekânın işlevlerini doğru yapabilmesi ise bu teknolojiyle doğrudan ilgilidir^[2].

2.1 Nöromorfik İşlem Teknolojisi ve Yapay Zekâ İlişkisi

İlk nesil yapay zekâ, sınırlı bir şekilde tanımlanmış bir problemi çözmek için kural bazlı ve klasik mantık kullanılarak anlamlı sonuçlar çıkarma üzerine çalışmaktadır. Bu kullanım şekliyle süreçlerin izlenmesi ve verimliliğin artırılması için çok uygundur. Şimdiki nesil yapay zekâ

ise büyük ölçüde bir video karesinin içeriğini analiz etmek için derin öğrenme ağlarını kullanarak hissetme ve algılamayla çalışmaktadır.

Gelecek nesil yapay zekâ, insanın bilişsel davranışları gibi yorumlama ve otonom adaptasyon alanlarına doğru genişleyecektir. Bu değişim yapay zekânın sağduyu anlayışı olmamasından ve deterministik görüşlerine bağlı olan sinir ağı kullanımından kaynaklı güçsüzlüğünün üstesinden gelmek için kritik öneme sahiptir. Yeni nesil yapay zekâ, sıradan insan davranışlarını otomatik bir şekilde gerçekleştirmek için yeni durumlara ve soyutlamaya hitap edebilmelidir. Bir diğer anlamda yeni nesil yapay zekâ nöromorfik bilgi-işlem teknolojisine ihtiyaç duymaktadır^[3].

Yapay zekânın gelecek nesilleri için aslında tercih edilebilecek bir yol daha vardır. Nöromorfik işlem teknolojisinin dışında bilgisayar bilimi ile güçlenen makine öğrenmesi de gelecek nesil yapay zekâyı desteklemektedir. Ancak bu yöntem nöromorfik işlemlerden farklı olarak yüksek miktarda verinin sisteme entegre edilmesi ve basit işlemlerde yüksek doğrulukla karar alan bir sistem olması nedeniyle kompleks ve detaylı çalışmalar için eksik kalabilmektedir. Nöromorfik işlem teknolojisi üzerine çalışan nörobilim ise sinirsel dinamiklerin, devrelerin, kodlamanın ve öğrenmenin detaylı bir şekilde çalışarak beynin algıladığına benzer şekilde işlemler yapabilen bir yapay zekâyı imkân sunmaktadır. Beynin nasıl çalıştığı ile ilgili halen yeterli bilgimiz olmasa da bu çalışmalar yapay zekâ ve diğer teknolojiler için çok büyük bir gelecek vadetmektedir^[4].

Nöromorfik işlem teknolojisinin makine öğrenmesini de güçlendirebileceği düşünülmektedir. Nöromorfik işlemler inşaat makineleri gibi ağır lojistik işlerinde veya görüntü tanıma teknolojilerinde çok tercih edilemese de bu alanlarda kullanılan makine öğrenmesi ile nöromorfik bilgi-işlem teknolojileri arasında yapılan çalışmalar da başka bir potansiyeli ortaya çıkarmaktadır. Makine öğrenmesinin en başarılı çalışmalarının sinir ağlarıyla yapılabileceğini gösteren çalışmalar başarılı olursa yeni teknolojiler için çığır açan bir dönem ortaya çıkabilir^[5].

2.2 Nöromorfik İşlem Teknolojisi Nasıl Çalışır?

Nöromorfik işlem teknolojisi henüz gelişim aşamasında olan ve endüstriyel kullanımı yakın zamanda gündeme gelen bir teknolojidir.

İnsan beynini taklit etme prensibine dayalı çalışan nöromorfik işlem teknolojisi sinapsların düğümlerle değiştirildiği suni sinir ağlarıyla çalışmaktadır. Bu ağlarla ilgili karşılaşılan en büyük problem ise dijital işlemlerin ikili yapısından kaynaklıdır. CPU'lar devrelerin açık veya kapalı olmasına göre mesajları iletirler, dolayısıyla daha hassas işlemlere yer kalmamaktadır. Mühendisler bu problemi, beynin elektrik sinyallerine benzer şekilde hareket imkânı veren analog devreleri kullanarak çözmüştür.

Günümüzde gelişmiş nöromorfik işlemciler 16 milyar sinapsı uyarma özelliğine sahiptir. Bu işlemci, beynin 800 trilyon sinapsı ile kıyaslandığında küçük kalsa da araştırma çalışmaları için uygun bir zemin yaratmaktadır^[2].

2.3 Nöromorfik İşlem Teknolojisi Kullanım Alanları

Nöromorfik işlem teknolojisi ile ilgili kullanım alanları iki ana başlık altında toplanmaktadır.

Uygulamalar: Görüntü tanıma ve işleme, sinyal tanıma ve işleme, veri işleme ve obje tanıma alanlarında çeşitli uygulamalarda nöromorfik işlem teknolojilerinden yararlanılmaktadır.

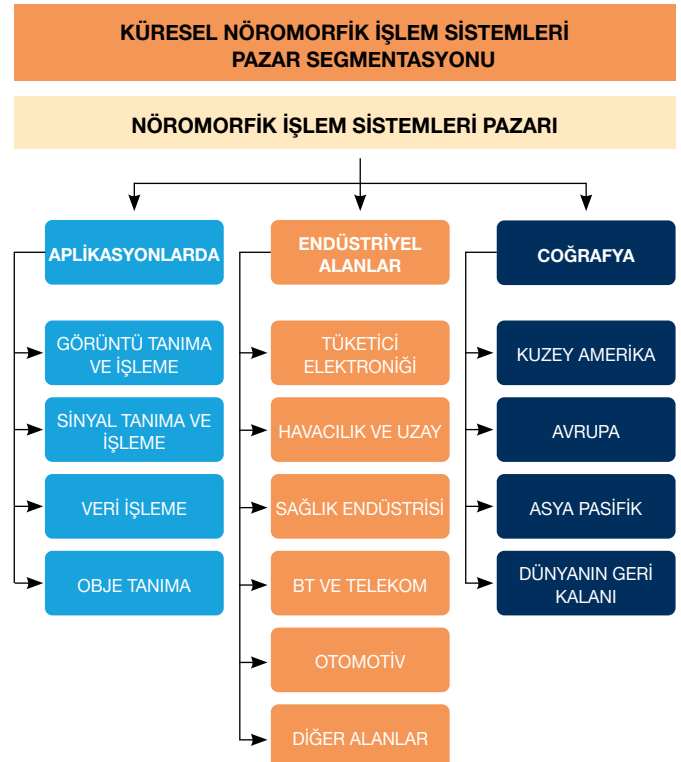
Endüstriyel Kullanım: Tüketici ürünleri, havacılık ve savunma sanayii, sağlık endüstrisi, Bilişim Teknolojileri (BT) ile telekom, otomotiv ve diğer endüstrilerde pek çok konuda nöromorfik işlemlerin kullanım alanı bulunmaktadır.

Ayrıca kullanımın yaygınlığı coğrafi özelliklere göre de sınıflandırılabilir. Kuzey Amerika, Avrupa, Asya Pasifik ağırlıklı olarak çalışmaların yapıldığı bölgeler olarak görülürken dünyanın geri kalanında da birçok nöromorfik işlem çalışması yapılmaktadır.

3. NÖROMORFİK İŞLEM TEKNOLOJİSİ PAZARI

Günümüzde özellikle robot teknolojilerinde kullanım alanı olan yapay zekâ, endüstriyel otomasyon ve makine öğrenmesi teknikleri için gelişmiş bilgisayar kapasitelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Nöromorfik işlem teknolojisi birçok endüstriyel alanda kullanılabilecek kritik bilgisayar işlemlerinin kapasitesini artırma potansiyeline sahiptir.

Credence Araştırma tarafından yayınlanan “Nöromorfik İşlem Sistemleri Pazarı” raporuna göre 2018-2026 yılları arasında pazarın yüzde 34,3 büyümesi beklenmektedir^[6].



Şekil 1: Küresel Nöromorfik İşlem Sistemleri Pazar Segmentasyonu^[6]

ABD’li ünlü araştırma şirketi Kenneth Research’ün yaptığı “Küresel Nöromorfik İşlem Teknolojisi Pazarına Bakış 2025” raporuna göre ise 2025 yılında bu pazarın 8,9 milyar dolara ulaşması beklenmektedir^[7]. Rapora göre, 2016’da 1,6 milyar dolar olan nöromorfik işlem teknolojisi pazarının 2025’e kadar yüzde 21’in üzerinde büyümesi beklenmektedir.

Özellikle sensör pazarında yapay zekâ ve makine öğrenmesine artan ihtiyaç ve çevrimiçi eğitim yazılımlarının benimsenmesindeki artışla gerçek zamanlı veri akışlarının, öngörü analizlerinin ve veri modellerinin ihtiyaç duyduğu çok daha iyi işlem kapasiteli bilgisayarlar nöromorfik işlem teknolojisi pazarının büyümesinde etkin rol oynamaktadır.

Araştırmaya göre Kuzey Amerika, nöromorfik işlem teknolojisi pazarında en çok büyüme gösteren bölge olarak öne çıkmaktadır. Bu alanda IBM, Intel ve General Vision gibi ABD’nin endüstri devleri tasarımlarıyla pazarı güçlendirmektedir. Çin, Hindistan ve Brezilya gibi endüstri devi firmalara ev sahipliği yapan Asya Pasifik ve Güney Amerika ülkeleri de artan otomasyon ihtiyaçlarıyla nöromorfik işlem teknolojisi pazarının büyümesinde rol oynamaktadır.

Küresel nöromorfik işlem teknolojisi pazarının hedef kitlesinde ise kilit danışmanlık firmaları, büyük-orta-küçük ölçekli işletmeler, girişimciler, üçüncü-taraf bilgi sağlayıcılar, yatırım bankaları ve diğer yatırımcılar bulunmaktadır.

Bölgelere göre nöromorfik çalışma yapan ülkeler ise; Kuzey Amerika’da ABD ve Kanada; Avrupa’da İngiltere ve Almanya; Asya Pasifik’te Çin, Hindistan ve Japonya; Latin Amerika’da ise Brezilya ve Meksika olarak öne çıkmaktadır^[7].

4. NÖROMORFİK İŞLEM TEKNOLOJİSİ KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Araştırmacılar, nöromorfik işlemler konusunda özellikle son yıllarda büyük gelişmeler kaydetmişlerdir.

Intel Labs yeni nesil yapay zekâ çalışmalarını desteklemek için nöromorfolojik işlem teknolojisi üzerine araştırmalar yapmaktadır. Bu araştırmalarda karşılaşılan en büyük zorluk, insan beynini taklit ederken insanın esnekliğini, öğrenme yeteneğini ve enerji verimliliğini de benzer şekilde uygulayabilmektir.

Nöromorfik işlem teknolojisi sisteminde bulunan hesaplama blokları mantık olarak nöronlar için analogtur. Sivri uçlu sinir ağları (Spiking Neural Networks -SNNs) bu sistemin biyolojik beynin doğal sinir ağlarını taklit etmesi için oluşturulmuş bir modeldir. SSN’de bulunan her nöron bağımsız olarak diğerlerine sinyal gönderebilir. Bu sayede diğer nöronların elektrik durumları değiştirilebilir. Bu sinyaller içinde iletilen bilginin kodlanması ve zamanlanması ile SSN’ler doğal öğrenme işlemini tetikleyerek suni nöronlar arasındaki sinaps ağını yeniden şekillendirebilmektedir.

Intel Labs araştırmacıları SNN’leri uygulamak için işleyen bir sistem sunmak amacıyla “Loihi” adını verdiği beşinci nesil kendi kendine öğrenebilen nöromorfik araştırma test çipini Kasım 2017’de tasarlamıştır^[3].

2019 yılında ise Intel Labs tarafından 8 milyon nöron içeren 64 Loihi çipten oluşan nöromorfik sistemleri olan Pohoiki Beach’in tanıtımı yapılmıştır. Gelecek çalışmaları 768 çip içeren 100 milyon nöronluk bir sistemin hedeflendiği de açıklanmıştır. Loihi ile çalışan ağların insan gibi öğrenen ve öğrenim kaybına karşı bağımsızlığı olan sistemler olması olası görülmektedir. Yani yeni bir veri ile karşılaşınca eski verileri kaybeden sistemler gibi çalışmadığından eski verileri de hatırlayarak daha güçlü bir öğrenimle daha insansı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Loihi’nin robotik sistemlerin gerçek zamanlı kontrolü içinde kullanıldığı uygulamalar da bulunmaktadır. Telluride Nöromorfik Bilişim Mühendislik Çalışma Grubu’nun düzenlediği “Nöromorfik İşlem Teknolojisi ile İlgilenen Öğrenciler İçin Yaz Kampı”nda Loihi tabanlı bir sistemin kullanıldığı langırt masasıyla bu teknoloji tanıtılmaktadır. Öğrencilerle bütün gücüyle mücadele eden Loihi sistemi nöromorfik çiplerin nasıl işlediğini en pratik şekilde anlatabilmektedir^[8].

IBM, altı yıl önce bir grup araştırmacıyla birlikte insan beyninden esinlenen bir makine yapmak için çalışmalara başlamıştır. Bu çalışmalar bugün Darpa Synapse’e teslim edilmiş, bir milyon beyin nöronuna karşılık gelen bir işlemci olarak ortaya çıkmıştır. İşlemci 70mW enerji tüketerek saniyede 46 milyon sinaptik işlem yapabilmektedir. Bu özellikler avcunuzun içine sığabilen bir süper bilgisayarı tanımlamaktadır. Araştırma aşamalarında yaşanan gelişmeler bugün TrueNorth adı verilen nöromorfik işlemcinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Günümüzde 100 trilyon sinapslık bir işlemin yapılabilmesi için, Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarları’nın kullanıldığı Blue Gene/Q modeli olan “Sequoia” adlı süper bilgisayardan 96 tanesinin birbirine bağlanarak yan yana çalışması gerekmektedir. Bu durumda bile işlem normalden 1500 kat daha yavaş olacaktır. İnsan beyni böyle bir işlem için 20W enerji tüketirken aynı işlemi bu senaryo bilgisayarı 12GW ile yapabilmektedir. Nöromorfik işlem teknolojisi çalışmalarının en büyük dayanağı çok güçlü işlemlerin çok düşük enerjilerle yapılabilmesine olanak sağlamasıdır.

IBM şu an 16 milyon nöronlu ve 4 milyon sinapslı sistemler yapmaktadır. Son çalışmalarla 4096 nöromorfik işlemcinin birleştirildiği 4kW enerji tüketen 4 milyar nöronlu ve 1 trilyon sinapslı bir bilgisayar yapılması planlanmaktadır.

IBM, TrueNorth ile yaptığı çalışmaları varış noktasından çok bir yolculuk olarak tanımlamaktadır. Yolun sonundaki hedef ise endüstrileri dönüştürürken akıllı iş makineleri tasarlayarak bilişsel bir gezegen yaratmaktır^[9].

DARPA’nın yürüttüğü Synapse (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics) programının amacı, düşük enerjiyle çalışan biyolojik ölçeklerde nöromorfik bilgisayarlar yapmaktır. Synapse programı çoklu disiplinlerle yapılan teknolojik gelişmeleri desteklemektedir. IBM araştırmacılarının Darpa Synapse

için geliştirdiği işlemci günümüzde 5 milyon transistörden oluşan ve 250 milyon sinaptik işlem yapabilen bir yapıya ulaşmıştır. Nöromorfik çiplerin, sınırlı bütçesi olan insansız hava araçları veya robotik yer sistemlerine uygulanmasıyla tehlikelerin algılanma hızı, olası sonuç senaryolarının oluşturulması ve operatörlerin alacağı kararların daha doğru ve güvenli hale gelmesi savunma sanayiinde verimi artırabilir^[10].

Singapur merkezli NeuroMem Teknolojileri firması kalıp tanıma teknolojileri için nöromorfik yarı iletken parçaların faydalarından yararlanmaktadır. Firmanın CEO'su nöromorfik işlem teknolojisi makinelerin zekâsında çığır açan bir pratiklik olarak tanımlamaktadır.

Google ve Qualcomm'un da nöromorfik araştırmalara yatırım yaptığı ve bu alanda çok büyük gelişim bekledikleri bilinmektedir^[11]. Qualcomm'un nöromorfik işlemci programı olan Zeroth, 2013 yılından beri geliştirilen en eski sistemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. 2015 yılında ticari kullanımına geçilen işlemcinin robotik uygulamalar ve mobil telefonlar gibi kullanım alanları bulunmaktadır. Qualcomm'un nöromorfik işlemcisinin medikal uygulamalarda, hastanın yaşam değerlerinin izlenmesi ve analizinin yanında, alması gereken ilaç dozlarının programlanmasında da kullanılması beklenmektedir. Akıllı telefonlarda kullanımıyla kullanıcının uyumaya gittiği zamanı anlayarak sonrasında gelecek aramaları telesekretere yönlendirmesi veya toplantıya girildiğinde bunu fark ederek telefonu otomatik sessize alması gibi özelliklerin kazandırılması da mümkündür^[12].

Google'ın yıllardır araştırma ve üretimini yaptığı Tensor işlemcileri (TPU) özellikle sinir ağıları tabanlı yapılarıyla nöromorfik araştırmalara verilen önemi göstermektedir. Hedeflenen bilişsel bir makinenin üretimi olduğundan insan beyninin nasıl çalıştığının iyi anlaşılması ve araştırılması önem kazanmaktadır^[13].

Kanada merkezli Applied Brain Reaserch (ABR) nöromorfik işlemcilerle çalışmalar yapan firmalardan biridir. Son geliştirdiği inanılmaz derecede az enerji tüketen yapay zekâ; konuşma, görüntü ve sinyal işleme sistemleri kullanılan cihazlarda pil ömrünü uzatan uygulamalara imkân vermektedir. ABR nöromorfik hesaplama çalışmalarıyla dünyanın en büyük çalışan beyin modelini inşa ederek askeri, otomotiv (kendi kendine gidebilen araçlar), IoT ve akıllı telefon pazarları için "beyin" adını verdikleri yapay zekâ uygulamaları üretmektedir^[14].

ABD'nin Pittsburgh Üniversitesinde çalışan bir grup araştırmacı grafen tabanlı suni sinapslarla insan beyninin işlemleri tamamlamadaki mimiklerini taklit edebildiklerini gösteren bir tasarım geliştirmişlerdir. Tasarlanan sinapsların biyolojik sinapslara göre çok daha iyi enerji verimliliği sağladığı araştırmayla açıklanmıştır^[15].

Samsung, SK Hynix, Brainchip, Nepes, Vicarius ve General Vision gibi birçok nöromorfik işlem

teknolojisi yatırımlarıyla gelişmeye devam eden ekosistemin 2034 yılında 21,3 milyar dolar büyüklüğe ulaşması beklenmektedir^[16].

5. NÖROMORFİK İŞLEM TEKNOLOJİLERİNİN GELECEĞİ VE BEKLENTİLER

Nöromorfik işlem teknolojileri düşüncelerimizi makinelerin anlayacağı şekilde tercüme etmenin kapılarını aralamaktadır. Yapay zekâ destekli akıllı telefonlar ve akıllı asistanlar hayatımızın her anında bize birçok fayda sağlarken nöromorfik işlem teknolojisinin de denkleme dahil olmasıyla insan beynini taklit ederek makine öğrenmesini uygulayan yapay sinir ağlarının yaratacağı olasılıkların sınırı bilinmemektedir.

Gelecekte nöromorfik işlem teknolojisinden yararlanılarak doktorların doğru alanlarda doğru teşhisler için bilgiye en hızlı şekilde ulaşması ve tedavi uygulamaları konusunda destek alması mümkündür.

Kendi kendine gidebilen ve gitmek istediğiniz yeri siz daha söylemeden tahmin edebilen süper akıllı otonom araç sistemleri yaya güvenliğini de sürekli gözetken bir gözlemci olarak çalışabilecektir.

Yapay zekâ destekli akıllı asistanların bilişsel güçler kazanmasıyla ise, kullanıcısının ihtiyaçlarına saniyeden daha kısa sürede karşılık vermesi ve kullanıcıya en uygun sıcaklık, ışık veya güvenlik sistemlerini sağlaması beklenmektedir^[17].

6. SONUÇ

Dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar, daha hızlı ve daha enerji verimli sistemler üretmeye devam etmek için alternatif mimariler üzerine çalışmaktadır. Bu noktada öne çıkan ve beyinden ilham alan nöromorfik işlem teknolojisi ile sadece sinirbilimcilerin insan beyninin eşi görülmemiş modellerini oluşturmasına değil, aynı zamanda robot bilimcilerinin karmaşık ortamlarda bilgisayar görüşüyle rahatlıkla gezebilen robotlar tasarlamasına da yardımcı olması beklenmektedir.

Gelecekte nöromorfik işlem teknolojisi, araştırmaların devam ettiği ve sınırların aşıldığı bir alan olmaya devam edecektir. Yapay zekâ ve son teknoloji ürünlerin pillerden güç alarak çalışan cihazlar ve araçlarda kullanılması nöromorfik teknolojilere olan ilgi ve ihtiyacı artırmaktadır. Günümüz işlemcilerine göre 10 kat daha hızlı çalışabilen ve enerji verimliliği daha yüksek nöromorfik işlemciler ve teknolojiler bu alanlarda hizmet veren birçok endüstri tarafından benimsendikçe yepyeni olasılıkların da kapısı aralanacaktır^[18].

KAYNAKÇA

- [1] Dickson, Ben; (2019), "What is neuromorphic computing?" *TechTalks*, (28 Ekim 2019), <https://bdtechtalks.com/2019/10/28/neuromorphic-chips-artificial-intelligence/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [2] Badrick Craig, (2019), "What Is Neuromorphic Computing and How Could It Impact Enterprise IT?", *Turn-Key Technologies*, (5 Haziran 2019), <http://www.turn-keytechnologies.com/blog/network-solutions/what-is-neuromorphic-computing-how-it-impacts-enterprise-it>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [3] Intel, "Beyond Today's AI", <https://www.intel.com.tr/content/www/tr/tr/research/neuromorphic-computing.html>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [4] Deng, Lei; "Understanding and Bridging the Gap between Neuromorphic Computing and Machine Learning", *Frontiersin*, <https://www.frontiersin.org/research-topics/10580/understanding-and-bridging-the-gap-between-neuromorphic-computing-and-machine-learning>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [5] Ray, Tiernan; (2019), "Neuromorphic computing finds new life in machine learning", *ZDNet*, (1 Temmuz 2019), <https://www.zdnet.com/article/neuromorphic-computing-finds-new-life-in-machine-learning/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [6] Gafen, Charlie; (2020), "Neuromorphic Computing Systems Market Is Expected To Grow At a CAGR of 34.3% During 2016 To 2026", *Credence Turbine*, (7 Ocak 2020), <http://www.credenceturbine.com/neuromorphic-computing-systems-market-is-expected-to-grow-at-a-cagr-of-34-3-during-2016-to-2026/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [7] *MarketWatch*, (2019), "Neuromorphic Computing Market Outlook 2025 - Rising Demand, Share, Trends, Growth, Opportunities and Top Key 2025", (22 Ekim 2019), <https://www.marketwatch.com/press-release/neuromorphic-computing-market-outlook-2025---rising-demand-share-trends-growth-opportunities-and-top-key-2025-2019-10-22>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [8] Moore, Samuel K.; (2019), "Intel's Neuromorphic System Hits 8 Million Neurons, 100 Million Coming by 2020", *IEEE Spectrum*, (15 Temmuz 2019), <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/artificial-intelligence/embedded-ai/intels-neuromorphic-system-hits-8-million-neurons-100-million-coming-by-2020>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [9] Modha, Dharmendra S.; "Introducing a Brain-inspired Computer", <http://www.research.ibm.com/articles/brain-chip.shtml>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [10] DARPA, (2014), "SyNAPSE Program Develops Advanced Brain-Inspired Chip", <https://www.darpa.mil/news-events/2014-08-07>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [11] Bridgwater, Adrian; (2018), "Neuromorphic Computing Could Build Human-Like Machine Brains", *Forbes*, (3 Ocak 2018), <https://www.forbes.com/sites/adrianbridgwater/2018/01/03/neuromorphic-computing-will-build-human-like-machine-brains/#78159d817124>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [12] Parker, Tammy; (2014), "Qualcomm demos robot with neuromorphic chip", *FierceWireless*, (27 Nisan 2014), <https://www.fiercewireless.com/tech/qualcomm-demos-robot-neuromorphic-chip>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [13] Fulton III, Scott; (2019), "What neuromorphic engineering is, and why it's triggered an analog revolution", *ZDNet*, (8 Şubat 2019), <https://www.zdnet.com/article/what-neuromorphic-engineering-is-and-why-its-triggered-an-analog-revolution/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [14] C/ISION, (2019), "Deep-Tech Startup Applied Brain Research Inc. Extends Battery Life with Ultra-Low-Power AI Algorithm ", (10 Aralık 2019), <https://www.prnewswire.com/news-releases/deep-tech-startup-applied-brain-research-inc-extends-battery-life-with-ultra-low-power-ai-algorithm-300971697.html>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [15] *Graphene-info*, (2018), "Scientists design a graphene-based artificial synapse modeled after the human brain", (24 Temmuz 2018), <https://www.graphene-info.com/scientists-design-graphene-based-artificial-synapse-modeled-after-human-brain>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [16] Pelé, Anne-Françoise; (2019), "Neuromorphic Promises Better AI", *EE Times*, (17 Ekim 2019), <https://www.eetimes.com/neuromorphic-promises-better-ai/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [17] *Techolution*, (2019), "Neuromorphic Computing in 2030", (9 Temmuz 2019), <https://techolution.com/neuromorphic-computing-2030-ai-mega-trends/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)
- [18] Joshi, Anand; (2019), "Is Neuromorphic Technology Ready to Take the Next Steps?", *Omdia*, (30 Aralık 2019), <https://www.tractica.com/artificial-intelligence/is-neuromorphic-technology-ready-to-take-the-next-steps/>. (Erişim Tarihi: 2 Mart 2020)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

