

# Ayna Nöronların Fiziksel, Sosyal ve Bilişsel Fonksiyonlar Üzerindeki Rolü: Geleneksel Derleme

## Roles of Mirror Neurons on Physical, Social, and Cognitive Functions: Narrative Review

<sup>id</sup> Faruk TANIK<sup>a</sup>, <sup>id</sup> Büşra AKTAŞ<sup>a</sup>, <sup>id</sup> Merve KESKİN<sup>b</sup>, <sup>id</sup> Derya ÖZER KAYA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon ABD, İzmir, Türkiye

<sup>b</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İzmir, Türkiye

**ÖZET** Bu derlemenin amacı; ayna nöronların keşfini, nörofizyolojisini irdelemek, ayna nöronların fiziksel, sosyal ve bilişsel fonksiyonlar üzerindeki rollerini inceleyerek; özellikle motor kontrol, taklit etme, empati, öğrenme, karar verme ve yargılama süreçleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Ayna nöronlar maymunlarda keşfedildiği zamandan beri üzerinde çok sayıda araştırma yapılmış bir nöron grubudur. Bu keşiften sonra bilim insanları, ayna nöronların insanlardaki varlığı ve çalışma mekanizmasıyla ilgili yoğun bir çalışma içerisine girmişlerdir. Ayna nöronlar, gözlemlenen ve yürütülen eylemleri eşleştirme, hem “kendi eylemlerini” hem de “başkalarının eylemlerini” kodlama kapasitesine sahip nöronlardır. Karşıdaki kişinin hareketlerini bir ayna gibi yansıtarak aktifleşmektedir. İnsan beyninde ventral premotor korteks ve alt parietal lobül, dorsal premotor korteks, superior parietal lobül, serebellum, suplementer motor alan ve mediyal temporal lob gibi alanlarda ayna nöronlarının varlığıyla ilgili kanıtlar bulunmuştur. İnsanlarda ayna nöron mekanizmasının yolu otomatik taklittir. Otomatik taklit, bir eylemin gözleminin benzer bir eylemin performansını istemeden kolaylaştırdığında veya farklı bir eylemin performansına müdahale ettiğinde meydana gelmektedir. İnsanlar el, kol, ayak ve ağız hareketlerini gözlemlediklerinde güçlü bir otomatik taklit gerçekleştirirler. Duyusal ve motor alanlarda aktive olan ayna nöron mekanizmaları, beceri kazanma ve sosyal etkileşimler üzerinde etkili olarak öğrenme ve karar verme süreçlerinde rol oynamaktadır. Ayna nöronlar, el-görsel motor, ağız-görsel motor ve işitsel-vokal ayna nöronlar olarak sınıflandırılmıştır. Derlememizde, ayna nöronların fiziksel fonksiyondaki rolü, motor hareketi anlama ve motor öğrenme, sosyal ve bilişsel fonksiyondaki rolü taklit etme, öğrenme, empati kurma, yargılama ve karar verme, hastalık ve rehabilitasyondaki rolleri de ayna nöronlar ve nörodejeneratif hastalıklar ile rehabilitasyonları kapsamında incelenmiştir. Ayna nöronların bu rollerinin iyi anlaşılması, bu süreçlerin iyileştirilmesi ve rehabilitasyonu için katkı sağlayabilecektir.

**ABSTRACT** This review aimed to examine the discovery and neurophysiology of mirror neurons, to examine the roles of mirror neurons on physical, social, and cognitive functions, and to reveal their effects on motor control, imitation, empathy, learning, decision-making, and judgment processes. Mirror neurons are a group of neurons that have been extensively studied since they were discovered in monkeys. After this discovery, scientists began an intense study of the existence and working mechanism of mirror neurons in humans. Mirror neurons are neurons that can match observed and executed actions, encoding both “their actions” and “actions of others”. It is activated by reflecting the movements of the other person like a mirror. Evidence for the presence of mirror neurons has been found in the human brain in areas such as the ventral premotor cortex and lower parietal lobule, dorsal premotor cortex, superior parietal lobule, cerebellum, supplementary motor area, and mediyal temporal lobe. The pathway of the mirror neuron mechanism in humans is automatic mimicry. Automatic imitation occurs when the observation of one action unintentionally facilitates the performance of similar action or interferes with the performance of different activities. When people observe hand, arm, foot, and mouth movements, they perform a powerful automatic imitation. Mirror neuron mechanisms, which are activated in sensory and motor areas, play a role in learning and decision-making processes by being effective in skill acquisition and social interactions. Mirror neurons are classified as hand-visual motor, oral-visual motor, and auditory-vocal mirror neurons. In our review, the role of mirror neurons in physical function, understanding motor movement, and motor learning, imitating the role in social and cognitive function, learning, empathy, judgment, and decision making, and their roles in illness and rehabilitation have been examined within the scope of mirror neurons and neurodegenerative diseases and their rehabilitation. A good understanding of these roles of mirror neurons will contribute to the improvement and rehabilitation of these processes.

**Anahtar Kelimeler:** Mirror nöronları; öğrenme; karar verme; empati

**Keywords:** Mirror neurons; learning; decision making; empathy

**Correspondence:** Faruk TANIK

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon ABD, İzmir, Türkiye

**E-mail:** tanikfaruk@gmail.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences.

**Received:** 23 Feb 2022 **Received in revised form:** 25 Apr 2022 **Accepted:** 10 May 2022 **Available online:** 08 Jun 2022

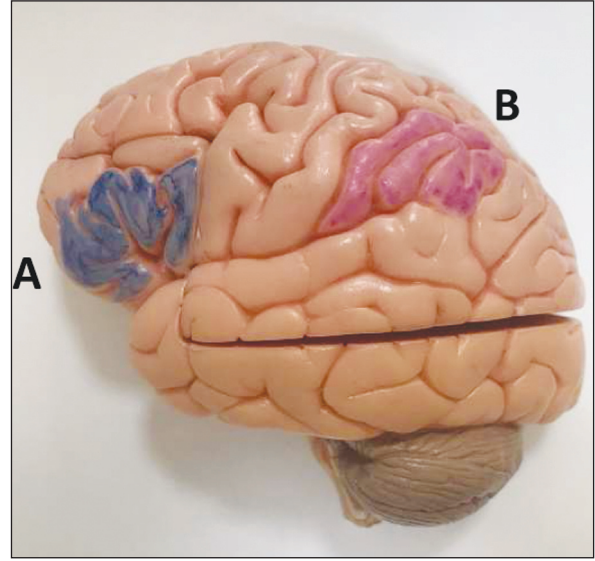
2536-4391 / Copyright © 2022 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Ayna nöronlar, hem belirli bir motor eylem gerçekleştirdiğinde hem de başka biri tarafından gerçekleştirilen aynı veya benzer eylem gözlemlendiğinde etkileşen nöron sınıfıdır. Bu sayede ayna nöronlar, sanki gözlemcinin kendisi hareket ediyormuş gibi diğerinin davranışını bir ayna işlevi görerek yansıtır. Bu tür nöronlar insanlarda, primat türlerinde ve kuşlarda doğrudan gözlemlenmiştir.<sup>1</sup> İnsanlarda gözlemlenen ayna nöronlar; düşünme, karar verme, motor öğrenme ve motor hareketler üzerinde oldukça önemli bir role sahiptir.<sup>2</sup> Bu derlemenin amacı; ayna nöronların keşfini, nörofizyolojisini irdelemek, ayna nöronların fiziksel, sosyal ve bilişsel fonksiyonlar üzerindeki rollerini inceleyerek; özellikle motor kontrol, taklit etme, empati, öğrenme, karar verme ve yargılama süreçleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Bu sayede ayna nöronların, günlük yaşamda önemi ve kullanımı ile nörodejeneratif hastalıklar gibi ayna nöronların olumsuz etkilendiği durumlarda oluşabilecek süreçler hakkında bilgi edinilmesi hedeflenmiştir.

## AYNA NÖRONLARIN KEŞFİ

Ayna nöronlar, ilk defa Rizzolatti ve ekibi tarafından 1992 yılında maymunlarda tesadüfen keşfedilmiştir.<sup>3</sup> Ancak ayna nöron olarak isimlendirilmeleri, keşiflerinden 4 yıl sonra 1996 yılında gerçekleşmiştir.<sup>4</sup> Ayna nöronların keşfi, bilim insanları tarafından büyük bir heyecanla karşılanmıştır. İnsanların sosyal davranışları, ayna nöronlar sayesinde açıklanabileceği için ayna nöronların keşfinin bu alanda önemli bir etkisi olacağı düşünülmüştür.<sup>5</sup>

Araştırmacıların ayna nöronları detaylı inceledikleri ilk hayvan, makak maymunudur. Bu maymunlarda, alt frontal girusta (F5 bölgesi) ve alt parietal lobülde ayna nöronlar bulunmuştur. Ayna nöronların keşfedildiği bölgelerin insandaki anatomik karşılığı **Resim 1**'de gösterilmiştir. Ayna nöronlar, gözlemlenen ve yürütülen eylemleri eşleştirme, hem "kendi eylemlerini" hem de "başkalarının eylemlerini" kodlama kapasitesine sahip nöronlardır.<sup>6,7</sup> Ayna nöronların en önemli özelliği, yalnızca maymunlarda güçlü bir tutuşla bir nesneyi kavramak gibi bir eylem gerçekleştirirken değil, aynı zamanda başka bir maymun tarafından gerçekleştirilen benzer bir eylem pasif olarak gözlemlendiğinde de ateşlenmeleridir.<sup>7</sup>



**RESİM 1:** Ayna nöronların keşfedildiği bölgelerin insandaki anatomik karşılığı. (A) Alt frontal girus, (B) alt parietal lob.

Ayna nöronların diğer hayvanların davranışlarını anlamada aracı olduğuna inanılmaktadır. Örneğin maymun bir kâğıt parçasını yırttığında ateşlenen bir ayna nöron, maymun bir kişinin kâğıdı yırttığını gördüğünde veya görsel ipuçları olmadan yalnızca kâğıdın yırtıldığını duyduğunda da ateşlenmektedir. Bu özellikler araştırmacıları, ister maymun isterse başka bir hayvan tarafından gerçekleştirilsin, ayna nöronların "kâğıt yırtma" gibi soyut eylem kavramlarını kodladığına inanmaya yönlendirmiştir.<sup>2</sup> Maymun beynindeki F5 bölgesi, insanlarda konuşma alanına denk gelmektedir. Bu yüzden insanlarda da ayna nöronların Broca alanında olduğu düşünülmektedir (**Resim 2**). Başlangıçta insanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, insanlar hareketleri gözlemlendiğinde ve uyguladığında aktif olan ventral premotor korteks ve alt parietal lobül alanlarında spasyal örtüşmeyi göstermek için fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme kullanılmıştır.<sup>4</sup> Ancak bu çalışmalar, insan ayna nöronlarının varlığına kesin bir kanıt oluşturamamıştır. 2011 yılından sonra yapılan çalışmalar sayesinde ayna nöronların varlığı insanlarda da kesin olarak kabul edilmiştir. İnsan beynindeki ayna nöronlar; maymunlardaki ayna nöronlar gibi hem klasik alanlarda (ventral premotor korteks ve alt parietal lobül) hem de dorsal premotor korteks, superior parietal lobül, serebellum, suplementer motor alan ve mediyal temporal lob gibi alanlarda da bulunmuştur (**Resim**



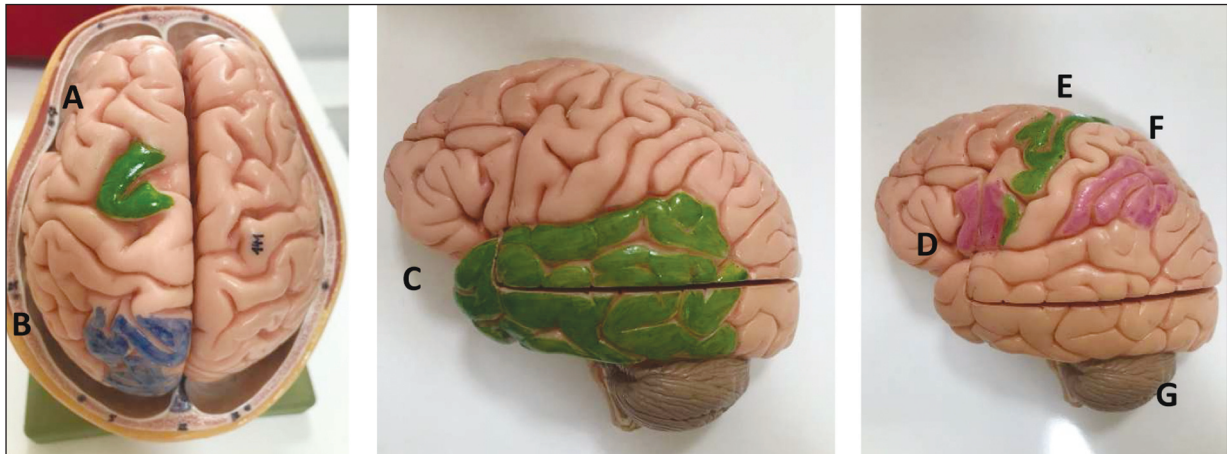
RESİM 2: Broca alanı.

1, Resim 3).<sup>8</sup> İnsanlarda farklı bölgelerde bulunan ayna nöronlar farklı fonksiyonlarda aktive olmaktadır. Gözlenen motor eylemlerin amacını ve niyetini anlayabilmek için premotor ve posterior parietal bölgedeki ayna nöronlar, işitsel girdilerde ise Broca alanındaki ayna nöronlar aktive olmaktadır. Farklı girdiler oluşması için farklı alanlardaki ayna nöronların aktive olması nöronal mekanizmalarla açıklanmaktadır.<sup>9</sup>

## AYNA NÖRONLARIN NÖROFİZYOLOJİSİ

Ayna nöronlarla ilgili yapılan ilk çalışmalarda, ateşlendikleri duyuşal ve motor alanlara göre 3 temel tür ortaya konulmuştur. İlk tür “kesinlikle uyumlu” (strictly congruent) ayna nöronlardır. Aynı eylemin yürütülmesi ve gözlemlenmesi sırasında “kesinlikle uyumlu” ayna nöronlar ateşlenmektedir. Hassas bir tutuş gerçekleştirildiğinde ve başka biri tarafından gerçekleştirilen bir hassas tutuş pasif olarak gözlemlendiğinde bu nöronlar ateşlenmektedir. İkinci tür ayna nöron grubu ise “geniş ölçüde uyumlu” (broadly congruent) ayna nöronlardır. Bu nöron grubu ise tipik olarak bir hareketin yürütülmesi sırasında (hassas kavrama), benzer ancak aynı olmayan hareketin gözlemlenmesi sırasında (kuvvetli kavrama) aktifleşmektedir. Üçüncü tür olan “mantıksal olarak ilişkili” (logically-related) ayna nöron grubu ise gözleme ve yürütme koşullarında farklı eylemlere yanıt verir.<sup>10</sup> Belirli bir bağlamda gerçekleştirilen bir eylemi gözlemek (bardağı kavrama) ve aktif olarak bir hedefe ulaşmak (bardağı ağıza götürme eylemi) için gerçekleştirilen motor eylemler zincirinde mantıksal olarak ilişkili ayna nöronlar ateşlenmektedir.

İnsanlarda ayna nöron mekanizması, eylem gözlemi sırasında ortaya çıkan “ayna nöron aktivitesi” motor uyarılmış potansiyeller [motor evoked potentials (MEPs)] tarafından gerçekleştirilmektedir. Pasif eylem gözlemi sırasında primer motor kortekse trans-



RESİM 3: İnsan beyninde ayna nöronların bulunduğu bölgeler. (A) Suplementer motor alan, (B) superior parietal lob, (C) mediyal temporal lob, (D) Broca alanı, (E) premotor korteks, (F) alt parietal lobül, (G) serebellum.

kraniyal manyetik stimülasyon (TMS) uygulandı-  
ğında, bu eylemi gerçekleştirmek için gerekli kaslar-  
dan kaydedilen MEPs genliği, farklı bir eylem  
gözlemlenirken kaydedilen MEPs genliğinden daha  
büyüktür. Örneğin işaret ve küçük parmak kaçırma ha-  
reketlerini seçici olarak gözlemlenmek, sırasıyla işaret  
ve küçük parmak hareketlerinden sorumlu 1. dorsal in-  
terosseus ve abdükör digiti minimi kaslarından kayde-  
dilen MEPs amplitüdünü fasilite etmektedir. Bu eylem  
gözlemi, ilgili kasları harekete geçirmek için kortikos-  
pinal uyarılabilirliği seçici olarak artırmaktadır. Bu et-  
kileşim sayesinde ayna nöronlar ile sensorimotor sistem  
arasında önemli bir ilişki olduğu düşünülmektedir.<sup>11</sup>

İnsanlarda ayna nöron mekanizmasının bir diğer  
yolu ise otomatik taklittir. Otomatik taklidin, bir ey-  
lemin gözleminin benzer bir eylemin performansını  
istemeden kolaylaştırdığında veya farklı bir eylemin  
performansına müdahale ettiğinde meydana geldiği  
söylenmektedir. İnsanlar el, kol, ayak ve ağız hare-  
ketlerini gözlemlediklerinde güçlü bir otomatik tak-  
lit gerçekleştirirler. Bu, birçok araştırmacı tarafından  
insanda ayna mekanizmasının bir kanıtı olarak kabul  
edilmektedir.<sup>12</sup> Bu görüşü destekleyen bir çalışma,  
klasik bir ayna alanı olan inferior frontal girusa yı-  
kıcı TMS uygulamasının otomatik taklidi engelledi-  
ğini göstermiştir.<sup>13</sup> Duyusal ve motor alanlarda aktive  
olan ayna nöron mekanizmaları, beceri kazanma ve  
sosyal etkileşimler üzerinde etkili olarak öğrenme ve  
karar verme süreçlerinde rol oynamaktadır.<sup>14</sup>

Ayna nöronlar, konumları açısından değişkenlik  
göstermekte ve yakın işlevleri bakımından birbirine  
karışmaktadır. Bu karmaşıklığı gidermeye yardımcı  
olması için önerilen bir kategorizasyon bulunmaktadır.  
Yanıtı tetikleyen duyuşal girdinin modaliteleri ve  
motor çıktısında yer alan efektörleri kriter olarak ak-  
tivasyon türlerine göre yapılan kategorizasyon, ayna  
nöronları 3 ana başlığa ayırmaktadır. Bunlar: 1) El-  
görsel motor ayna nöronlar, 2) Ağız-görsel motor  
ayna nöronlar ve 3) İşitsel-vokal ayna nöronlardır.<sup>15</sup>

El görsel motor ayna nöronları, başkalarının el  
hareketlerinin görsel olarak gözlemlenmesiyle aktive  
edilen ve aynı zamanda kişinin kendi el hareketlerinin  
kontrolünde yer alan birbirine bağlı nöronal hücre po-  
pülasyonlarını ifade eder.<sup>15</sup> Nitelikli el becerileri, uzun  
bir olgunlaşma dönemi (insanlarda 1 ila 2 yıl, makak-

larda birkaç ay) ve birçok duyu-motor entegrasyon se-  
viyesi gerektirir. Görsel yönlendirmeye yapılan  
uzanma hareketleri için başarılı bir kontrol stratejisinin  
geliştirilmesi ve iyileştirilmesine, eş zamanlı ve koor-  
dineli motor ve görsel deneyimi içeren uygun keşif  
davranışının yürütülmesi eşlik eder.<sup>16</sup> Bu durum, ma-  
nuel eylemlerle ilgili ince algısal becerilerin ortaya  
çıkmasının, ilişkili motor becerilerin gelişimi ile ne-  
dinsel olarak bağlantılı olduğunu göstermektedir.<sup>15</sup>

Ağız görsel motor ayna nöronları, hem başkala-  
rının ağız hareketlerinin görsel gözlemi hem de ağız  
hareketlerinin gerçekleştirilmesi tarafından aktive  
edilen nöron popülasyonlarını ifade eder.<sup>15</sup> Ayna nö-  
ronlar, ağız ve bir nesneyi içeren bir etkileşim sıra-  
sında gerçekleştirilen ağızla kavrama ve tutma,  
emme, çiğneme, kırma ve yutma gibi eylemlerin göz-  
lemlenmesi ve yürütülmesi sırasında aktive olurlar.  
Bu eylemlerin yanı sıra dudak şapırdatma veya dil çı-  
karma, mimik hareketleri gibi iletişimsel eylemlere  
yanıt olarak da aktive olurlar.<sup>17</sup>

İşitsel-vokal ayna nöronlar, başkalarının vokal  
sesleri ve aynı şekilde kişinin kendi seslendirme üre-  
timi tarafından aktive edilen nöron popülasyonları-  
dır.<sup>15</sup> İnsanlarda işitsel-vokal ayna tepkileriyle aktive  
olan ayna nöronlar, frontal korteksin bir premotor  
bölgesi olan Broca alanına lokalizedir.<sup>18</sup> Bu sonuçla-  
rın genel olarak sensorimotor nöronların ve özel ola-  
rak ayna nöronların düzenlemesini anlamak, beyin  
organizasyonu ve davranışının birlikte nasıl işledi-  
ğine ve geliştiğine ışık tutmak için çok önemlidir.

## AYNA NÖRONLARIN ROLLERİ

Ayna nöronların insanların fiziksel, sosyal ve biliş-  
sel fonksiyonlarının üzerinde önemli rolleri bulun-  
maktadır.<sup>14</sup> Derlememizde, ayna nöronların fiziksel  
fonksiyondaki rolü motor hareketi anlama ve motor  
öğrenme alt başlıklarıyla incelenirken, sosyal ve bi-  
lişsel fonksiyondaki rolü; taklit etme, öğrenme, em-  
pati kurma, yargılama ve karar verme alt başlıklarıyla  
incelenmiştir.

### AYNA NÖRONLARIN FİZİKSEL FONKSİYON ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Fiziksel fonksiyon kapsamında motor hareketleri an-  
lama ve motor öğrenme gibi motor kontrolü içeren

eylemlerde ayna nöronlar aktif olarak kullanılmaktadır.<sup>19</sup> Ayna nöronların motor kontrol üzerindeki rolleri Şekil 1’de özetlenmiştir.

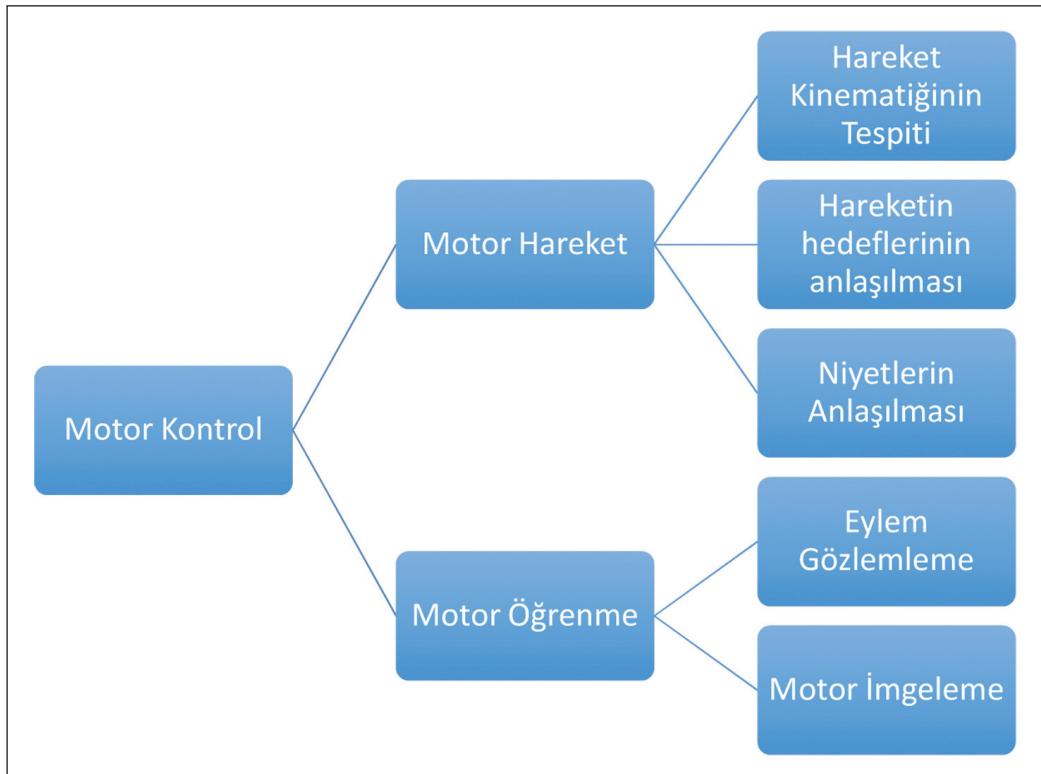
### Motor Hareketi Anlamadaki Rolü

İnsanlarda ayna nöronların ana işlevi, motor hareketi anlamadaki rolüyle ilişkilidir. Kişi, başka birinin gerçekleştirdiği belirli bir eylemi her gözlemlediğinde, o eylemin performansını temsil eden ayna nöronlar etkinleştirilmektedir. Yapılan gözlem sonucunda, ayna nöronlar aracılığıyla bu gözlem bilgiye dönüştürülmektedir.<sup>2</sup> Ayna nöronlar, saksafon çalmak veya dans etmek gibi belirli soyut kavramlar için sensorimotor uyarılarla zenginleştirme sağlayabilir. Bu zenginleştirme mekanizmasının bir sonucu olarak, bu enstrümanı çalan veya usta olduğu dansı yapan bir kişi, bir başkasının kendi alanıyla ilgili becerisini onu izleyerek daha kolay yargılayabilirken, kendi alanı olmayan bir beceriyi izleyen kişi bu yargılama ve yorum yapmada daha fazla sorun yaşayabilmektedir.<sup>20</sup>

Ayna nöronların ayırt edici özelliği olarak, motor eylemi algılamak, gözlemi yapan kişinin motor

eylemi kendi başına yürütmesi için gerekli olan aynı motor ağı etkinleştirmektedir. Algılama ve uygulama sırasında aktive edilen beyin alanları arasındaki örtüşmenin bir sonucu olarak, gözlemcinin doğrudan ve anında başkalarının eylemlerini ve niyetlerini anlayabildiği bildirilmiştir.<sup>7</sup> Bu daha geniş kavram dâhilindeki bileşen yetenekleri daha düşük seviyeli hareket kinematiğinin (örneğin hassas bir kavrama ile bir bütün el kavrama arasındaki el şeklindeki farklılıklar) tespit edilmesini, eylem hedeflerinin (bir anahtara basmak gibi bir eylemin hemen sonucunun) ve niyetlerin (ışığı kapatmak yerine açmak için bir düğmeye basmak gibi bu eylemi üreten üst düzey zihinsel durum veya motivasyonun) anlaşılmasını içermektedir.<sup>21</sup>

Eylemleri anlama yeteneğinde önemli role sahip olan ayna nöronlar, gözlemlenen bir eylemin görsel bilgisini kişinin onu taklit etmesine izin veren bilgiye dönüştürebilmektedir. Bu, diğer insanlarla yakın temasta olduğunda gerçekleşmektedir. Başka insanların izlerken bir kişideki ayna nöronlar, hem sahip olunan hem de daha önce karşılaşılmayan görevleri yerine getirdiklerinde aktifleşmektedirler.<sup>22</sup>



ŞEKİL 1: Ayna nöronların motor kontroldeki rolü.

## Motor Öğrenmedeki Rolü

Ayna nöronların bir başka önemli işlevi, motor öğrenmeyi kolaylaştırmasıdır. Motor öğrenme ile kişilerin yeni motor yeteneklerde yetkinlik kazanabileceği uygulama ile bağlantılı bir dizi süreç kasdedilmektedir.<sup>23</sup> Bir sinaptik bağlantı ne kadar sık aktifleştirilirse o kadar güçlü hâle gelmektedir.<sup>24</sup> Ayna nöronlar, gözlemlenen eylemlerin kendi motor programlarımızı toplamak ve eylemleri daha sonra yeniden üretmeye hazırlamak için gözlemlenen eylemi örtük olarak beyinde tekrarlamamıza izin vermektedir. Bundan dolayı gözlemci, eylemi açık bir şekilde çeviklik ve ustalıkla üretecektir. Bu, ilişkisel öğrenme süreçleri nedeniyle gerçekleşmektedir.

Eylem gözlemi ve motor imgeleme, motor öğrenmede temel rol oynamaktadır. Özellikle ayna nöronlar, bir eylemi gerçekleştirmek için kullanılan motor temsillerinin belirli bir dereceye kadar başkaları tarafından yapılan kognitif motor görevlerden (eylemlerin, motor görüntülerin ve eylem taklidinin tanınması ve anlaşılması) sorumlu motor temsilleriyle örtüştüğü gösterilmiştir.<sup>25</sup>

Çocukluk dönemi motor imgeleme, motor, sosyal ve kognitif öğrenme süreçlerinin çok yoğun olduğu bir dönemdir. Ayna nöronların motor öğrenmedeki rolü, tüm bu süreçlerde aktif olarak rol aldığı bilinmektedir. Motor öğrenmede eylemin gözlemlenmesi, bu süreçlerde bilgileri öğrenebilmek için önemli bir yer kaplamaktadır. Özellikle hayatımızın ilk yıllarında gülümsemek, yemek yemek, öğrenmek, ailelerimizin ve gruplarımızın geleneklerini, kurallarını benimsemek gibi pek çok şey öğrenilmektedir. Bu, başkalarının gördüklerini ve hissettiklerini göremek ve hissederek öğrenmenin bir yoludur.<sup>26</sup>

Bu çocukluk döneminde eğitim süreci, öğretmen-öğrenci arasındaki ve öğrenci-öğrenci arasındaki ilişki gibi her zaman kişiler arası ilişkileri içerdiğinden, bu süreçte ayna nöronlar önemli bir rol oynamaktadır. Ayna nöronların çalışma şekli ve etki alanları, çocukların öğrenme ortamının ve okuldaki kişiler arası iletişimin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayna nöronları harekete geçirmesi beklenen beyin temelli öğretim yöntemlerini (nörofizyolojik öğrenme kuramı gibi) uygulayarak öğrencilerin öğrenme performansları geliştirilebilmektedir.

Benzer şekilde, öğretmenlerin ayna nöronların kişiler arası ilişkiler üzerindeki etkisi ve onları şekillendirme biçimleri konusundaki farkındalığını artırmak da sınıf içi iletişimi kolaylaştırabilmekte ve öğrenci-öğretmen ilişkilerini geliştirebilmektedir.<sup>22</sup>

## AYNA NÖRONLARIN SOSYAL VE BİLİŞSEL FONKSİYON ÜZERİNDEKİ ROLÜ

### Ayna Nöronların Taklit Etme ve Öğrenme Üzerindeki Rolü

Ayna nöronların, eylem gözlemi ve taklit paradigmasına dayanan motor gelişimindeki rolü oldukça önemlidir.<sup>27</sup> Yeni becerileri kavramada taklit etme söz konusu olduğunda ayna nöronlar ön plana çıkmaktadır.<sup>26</sup> En yaygın kullanılan öğrenme biçimlerinden olan taklit, birçok becerinin deneme yanılma yoluyla öğrenmenin zaman alıcı süreci olmadan edinilmesini sağlamaktadır. Taklit, aynı zamanda yüz ve diğer vücut hareketlerini okumak ve diğer insanların amaçlarını, niyetlerini ve arzularını anlamak gibi temel sosyal becerilerin geliştirilmesinde de temel yapı taşıdır.<sup>28</sup>

Ayna nöronlar, doğuştan itibaren çocukların tank oldukları eylemleri taklit ederek çevreleriyle iletişim kurmalarını sağlamaktadır. Çocukların kendinden yaşça büyük kişileri taklit ederek öğrendikleri düşünülmektedir. Elde edilen veriler, ayna sisteminin uyarlanabilir olduğunu ve ilkel düzeyde olmasına rağmen doğumdan 6 ay sonra çalışmaya başlayabileceğini göstermektedir.<sup>29</sup> Konuşma becerisi kazanıldığında iletişimin önemli bir parçası olmasının yanı sıra ayna nöronları, yaşam boyunca bilinçaltında yüz ifadelerini, duyguları ve hareketleri taklit etmeye devam etmeye izin vermesinin yanı sıra kişiler arası ilişkileri kolaylaştırmaktadır.<sup>22</sup>

Nörobilimciler, ayna nöronların insandan taklit etme yoluyla öğrenmede, iletişimde ve etkileşimindeki rolüne dikkat çekmektedir. Ayna nöronların insan kültürünün, dilinin ve diğer karmaşık bilişsel becerilerinin kökenlerini anlamak için biyolojik bir mekanizma sağladığı düşünülmektedir. Ünlü bilim insanı Ramachandran bir adım daha ileri giderek, ayna nöronların gelişiminin yaklaşık 40.000 yıl önce insan popülasyonlarında sanat ve bilim dünyasında meydana gelen iletişim devriminin temelini oluşturduğunu ileri sürmüştür.<sup>30</sup>

Gözlenen hareketin algılanması ve taklit edilmesi, ayna nöronların temel işlevleri arasında bulunmaktadır. Taklit, yani yapılan bir işin gözlenmesi ve bu gözleme dayanarak gerçekleştirilmesi, daha çok gelişmiş canlılarda görülür. Yapılan bir işin taklit edilmesi öğrenmede önemli yer tutar. Ayna nöronların beynin farklı bölgelerinde bulunması çok farklı işlevlere sahip olduklarını ve pek çok işlevin koordinasyonuna katılabileceklerini düşündürmektedir. Öğrenme, dil, empati, başkasının yaptığı bir hareketi izlerken sanki kişi o hareketi yapıyormuş gibi hücrelerin etkilenmesi, ayna nöronların insani değerlerin oluşumunda da önemli rol aldığı düşünülmektedir.<sup>31</sup>

İnsan ayna nöronların yalnızca amaca değil, eylemin (hedef) tüm hareketine yanıt verme özelliklerinin, insanların başkalarının eylemini taklit etme kapasitesini belirlemede önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Taklit etmenin altında yatan mekanizma, gerçekleştirilen eylemin gözlemlenenle bire bir eşleşmesini gerektirir. Ayna nöronlar, başkalarının eylemlerini ve bunlarla ilişkili niyeti tanıyabilir. Böylece başkalarının olası eylemlerini kodlayabilirler, böylece gözlemciler başkalarının eylemlerini tahmin edebilirler.<sup>32</sup>

Motor taklidi, genellikle temel bir kognitif görev olarak kabul edilmektedir. Farklı alanlarda yapılan son araştırmalar, bu varsayımın doğru olmadığını göstermektedir. Taklidin insanlarda özel olarak geliştirilmiş ve özünde dil ve kültürle bağlantılı bir yetenek olduğuna dair açık kanıtlar bulunmaktadır. Eylem taklidi, doğası gereği motor gözlemi, motor imgelemine ve hareketlerin gerçek uygulamasını ifade etmektedir.<sup>33</sup>

Iacoboni, taklit ederek öğrenmenin, ayna nöronların dorsolateral prefrontal korteksini (çalışma belleğiyle ilgili bir bölgeyi) ve motor hazırlıkla ilgili diğer bölgeleri içerdiğini öne sürmüştür. Bu teoriyi destekleyen Vogt ve ark., ayna nöronların en çok öğrenmenin erken aşamalarında dâhil olduğunu ve santal sinir sistemi bölgelerinden gelen bilgileri diğer beyin bölgelerine entegre edebileceğini, böylece öğrenme sürecini koordine etmeye yardımcı olduğunu göstermiştir.<sup>32,34,35</sup>

Ayna nöronlar, eylemi doğrudan taklit edebiliyor veya motor hareket gerektirmeden eylemin si-

mülasyonunu gerçekleştirebiliyor gibi görünmektedir. Bu tür bir gözlem/aksiyon eşleştirme sistemi, özellikle taklit ederek öğrenme için önemli olmanın yanı sıra sosyal ilişkiler için önemli rol oynayan empatinin gelişimi ve zihin teorisi için de önemli bir yetenektir.<sup>36</sup> Ayna nöronların temel fonksiyonları ile birlikte empatinin kurulması, eyleme yanıt oluşturma sürecinde aksiyon gerçekleştirmeye bir algısal perspektif kazandırır. Bu algısal perspektif; aksiyonun yorumlanması, yargılanması ve önceki deneyimler ve içinde bulunulan durumun tartılması yoluyla eleştirel düşünülmesini sağlayarak kişinin bir eylem veya duruma karşılık yanıtı konusundaki karar verme süreçlerine katkı sağlayabilir. Bu sürece sosyo-bilişsel bir boyut kazandırabilir.<sup>28</sup>

### Ayna Nöronların Empati Kurma ve Yargılama Üzerindeki Rolü

de Waal'un çalışmasında, ayna nöronların rolleri arasında empatiyi de içerdiği öne sürülmüştür.<sup>37</sup> Bir başka insanın hareketlerini, duygusal durumunu gördüğümüzde beynimizdeki ön insula, ön singulat korteks, inferior frontal korteks gibi bölgelerin daha fazla aktivasyon gösterdiği bulunmuştur. Araştırmacılar, çok boyutlu empatik tepkilerin çeşitli yönlerini gözlemleyerek, empati ile ilgili süreçlerin ve zihin teorilerinin yaratılmasıyla ilgili süreçlerin, kendi içlerinde farklı olmasına rağmen yakından bağlantılı olduğunu buldular. Dolayısıyla 2 tür empati "bilişsel empati ve duygusal empati" ayırt edilebilir. 1. tip, başka bir kişinin bakış açısını kabul etme yeteneği, yani bir zihin teorisi oluşturma yeteneği ile ilgilidir. Bu yeteneğin temeli, öncelikle mediyal prefrontal korteksin sorumlu olduğu kişinin kendisinin ve diğer insanların zihinsel durumlarını algılaması ve deneyimlemesidir. Ek olarak; insular korteks, anterior ve dorsal anterior singulat korteks, premotor korteks ve bazal ganglionlar gibi beyin yapıları aktive edilirse duygusal empati ortaya çıkar. Bu empati, duygusal durumları deneyimlememizle yani ruh hallerini tanıma yeteneğimizle veya acı çeken birini gözlemlemenin bir sonucu olarak güçlü duygusal tepkiler göstermemizle bağlantılıdır. Yapılan bir araştırmada, empati kurma becerisi daha fazla olan kişilerde insula alanının daha kuvvetli etkinleştirdiği ve buna bağlı tepkilerin de daha fazla açığa çıktığı gözlemlenmiştir.<sup>37</sup>

Ayna nöronlar, Ramachandran tarafından, dünyayı “karşımızdaki kişinin bakış açısından” görmeyi sağlayan bir ağın parçası olarak tanımlanmaktadır.<sup>38</sup> Bu nöronlar, başkalarının zihinlerini kavramsal akıl yürütme yoluyla veya düşünerek değil, hissederek kavramamıza izin vermektedir.<sup>39</sup> Bu konuda Hunt, empati kurmayı öğrenmenin, insan haklarına giden yolu açtığını söylemektedir.<sup>40</sup> Ayna nöronların, duygu ve düşüncelerin ortak bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak empati kurmada rol oynayabileceği vurgulanmaktadır.<sup>41</sup> Bu nedenle nörobilimciler, beynin karar verirken yaptıklarının %95-98’inin bilincimizin dışında gerçekleştiğini belirtmektedir.<sup>42</sup>

Ayna nöronların yargılama sürecindeki etkisi ve önemini anlatmak için Amerika Birleşik Devletleri’nde karara bağlanan 8 davanın incelendiği bir çalışma ortaya konmuştur. Bu çalışmada yer alan, tamamının ölüm cezası davası olduğu bilenen 8 davada, 9 yargıçtan 8’i ölüm cezası aleyhine oy kullanırken, davanın konusu ne olursa olsun bir yargıç her zaman ölüm cezası lehine oy kullanmıştır.<sup>43</sup> Bu dava sonucunda, ayna nöronların etkisiyle limbik sistemde oluşan bilinçaltı duygunun rol oynadığı ve yargılamadaki durum ne olursa olsun kararın ölüm cezasının onaylanıp onaylanmamasıyla ilgili olduğu düşünülmüştür.<sup>43</sup> Burada yargılama işlemi gerçekleştirip karar veren kişilerin hangi duygu altında hangi durumu ve bilinçaltında yer alan hangi deneyimi yansıttığının önemli olduğu vurgulanmaktadır.<sup>44</sup> Karar verme süreçlerinde %95-98’inin bilinç dışı gerçekleştiği bilgisine dayanarak, kişilerin kararlarını gerçekte neyin yönlendirdiğinin farkında olmadıkları belirtilmektedir.<sup>42</sup> Nörobilim, empatinin yargılamada bir rolü olup olmasının yanı sıra karar vermede ne kadar önemli bir rol oynadığının belirlenmesini gerekliliğini söylemektedir.<sup>44</sup>

### Ayna Nöronların Karar Verme Üzerindeki Rolü

Ayna nöronlar, nöral rezonans yoluyla kişilerin empati kurmasına ve bunları taklit ederek harekete dönüştürmesine yardımcı olan yapılardır.<sup>45</sup> Bu yapı sayesinde hem duygular hem de motor işlevler taklit edilebilmektedir.<sup>46</sup> Davranışların sonucunda karşılaşılabilecek ödül ve cezalar, amigdala vasıtasıyla duygusal-bedensel durumları etkilemektedir.<sup>47</sup>

Belirsiz bir sonuç karşısında kararların alınması sırasında, somatik-marker hipotezine göre kararların

gelecekteki sonuçları karşılaştırılırken duygusal-bedensel durumlar ile eldeki seçenekler avantajlı dezavantajlı olarak değerlendirilmektedir. Kişi, bu seçenekleri hatırladığında, geçmişte bu davranışın tetiklediği somatik durum ventromediyal preforantal korteks tarafından beyinde yeniden canlandırılmaktadır.<sup>48</sup>

Bu alanda yapılan bir çalışmada, ayna nöronların karar verme üzerinde de etkili olabileceği yönünde bulgular ortaya konmuştur. Yapılan bu çalışmada, bir gruba acı çeken bir kişinin videosu izletilirken, diğer gruba ise rahat koşullarda bulunan bir kişiyi içeren bir video izletilmiştir. Katılımcılar bu videoları izlerken, ayna nöronlarının aktivitesi araştırmacılar tarafından ölçülmüştür. Daha sonra araştırmacılar tarafından katılımcılara, bir kişiye doğrudan zarar vermenin daha fazla insana fayda sağlayacağı çeşitli durumlar hakkında sorular yöneltilmiş ve katılımcıların bu durumlarla ilgili karar vermeleri istenmiştir. Araştırmacılar, ayna nöronların aktivitesini katılımcıların cevaplarıyla eşleştirdikten sonra, acı çeken bir kişinin videosunu izlerken daha fazla ayna nöron aktivitesi sergileyen kişilerin etik ikilem durumunda doğrudan zarar verme olasılıklarının daha düşük olduğunu belirtmiştir. Katılımcıların, bir başkasının acı çekip zarar görmesine tanık olmalarının, acı veren uygulamanın fiziksel hissinin nasıl deneyimlendiği konusunda empati kurmalarına neden olabileceği ve karar verme sürecini etkileyebileceği düşünülmüştür.<sup>49</sup> Bu bulgular, tepki eğilimlerinin empati ve bakış açısıyla ilgili diğer faktörlerle ilişkili olduğunu bildiren çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.<sup>50,51</sup> Ayna nöronların da bulunduğu inferior frontal korteksin, başkalarının davranışlarını tanıma ve anlama, kişilerin duygudurumlarını veya empati kurma becerisini değerlendirme üzerindeki rolü, nöral rezonans ve karar verme gibi yüksek ve düşük seviyeli empatik süreçleri bütünleştirdiği ve bunlar arasında bağlantılar sağladığı ortaya konmuştur.<sup>52,53</sup>

### AYNA NÖRONLAR VE NÖRODEJENERATİF HASTALIKLAR

Ayna nöronların bilişsel süreçlerdeki rolleri, nörodegeneratif hastalıklarda da bu yapıların göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bilişsel



ve motor nörodejeneratif bozukluklar arasındaki klasik ayrımın net olmadığı ve her nörodejeneratif hastalıkta hem bilişsel hem de motor semptomların bir tür süreklilik içinde olduğu daha belirgin hâle gelmeye başlamıştır.<sup>54</sup>

Başlangıçta bir hareket bozukluğu olarak sınıflandırılan Parkinson'da, motor olmayan semptomların (bilişsel, otonomik, duygulanım ve davranış bozuklukları) hastalığın seyri ile ilişkili olduğu kabul edilmektedir.<sup>55</sup> Buna karşılık, demansın en yaygın nedeni olan Alzheimer ve aynı hastalığın, özellikle amnezik biçimindeki bir demans başlangıç aşaması olarak görülen hafif bilişsel bozukluk, her zaman "saf" bilişsel bozukluklar olarak görülmüştür.<sup>56</sup> Ancak son yıllarda bu 2 hastalıkla ilgili motor bozuklukların da geliştiği kabul edilmeye başlanmıştır.<sup>57</sup> Hem motor hem de bilişsel durumun etkilendiği nörolojik hastalıklara en iyi örnek ise amyotrofik lateral skleroz (ALS) verilebilir. Demansı olmayan ALS hastalarında empati kaybının olduğu gözlemlenmiştir.<sup>58</sup>

Ayna nöronların etkilendiği bir diğer nörolojik hastalık olarak otizm spektrum bozukluğu (OSB) varsayılmaktadır. OSB'li katılımcıların motor nöron sistem bozuklukları, yüz ifadelerini otomatik olarak taklit etmede eksiklikler, duygusal yüz ifadelerini tanımada eksiklikler, genel olarak sosyal etkileşim ve sosyal karar vermede ciddi eksikliklere neden olabilecek eylem niyetini anlama bozuklukları görülebilmektedir. Bu nedenle ayna nöronların taklit davranış, motor eylem ve sosyal karar vermeden sorumlu yollar arasında nörofizyolojik bir etkileşim olduğunu varsayabiliriz.<sup>59</sup>

Parkinson hastalığındaki mevcut çalışmaların varsayımsal bir sonucu, bu hastalıkta ayna nöron ağının bir şekilde değişmiş olduğu fikri olabilir (Bazal ganglionları frontal kortekse bağlayan kortikal-subkortikal halkaların dejenerasyonu). Bu sistemin hiperaktivasyonu, en azından erken aşamalarda motor ve bilişsel performansları destekleyebilirken, sonraki aşamalarda ayna nöron ağının daha şiddetli bozulması, hastaların en azından bir kısmında telafiyi önleyebilir.<sup>60</sup>

ALS hastalığında ise ön kanıtlar ayna nöron ağının dâhil olduğuna işaret eder. Ayna nöron sisteminin

bozulması, bu hastalarda gösterilen dil ve öznellik arası eksiklikleri açıklayabilir.<sup>61</sup> Alzheimer ve hafif bilişsel bozukluk hastalarında yapılan çalışmalar ise beynin oluşan bozulma için kompensatuar mekanizmalar devreye sokmasıyla ayna nöron ağının arkadan ön bölgelerine olası bir progresif katılımı önermektedir.<sup>62</sup>

## AYNA NÖRONLAR VE REHABİLİTASYON

Karmaşık bir motor fonksiyon sürecine ihtiyaç duyan hareketi taklit ederek öğrenme sürecinde ayna nöronların rehabilitasyondaki rolü oldukça fazladır. Ayna nöronların rehabilitasyon sürecine dâhil edilmesindeki amaçlardan biri, etkilenmiş motor korteksin iyileştirilmesini artırmak için nöroplastisite aktivitesini artırmaktır. Ayna nöronların çeşitli şekillerde ateşlenebilme özellikleri, farklı hastalıkların tedavisinde kullanılan yaklaşımların gelişmesi için bir temel oluşturmuştur. Rehabilitasyon yaklaşımlarında kullanılan ayna nöron mekanizmasının görme, propriyosepsiyon ve motor komutlarla etkileşim içerisinde olduğu, uyarılması ile birlikte kişilerde etkilenen fonksiyonlar için yeniden kortikal organizasyonunun sağlandığı ve fonksiyonel iyileşmenin desteklendiği bildirilmiştir.<sup>4</sup>

Ayna nöron mekanizmalarının temelinde geliştirilen bu güncel rehabilitasyon yaklaşımları arasında; ayna terapisi, motor imgeleme, eylem gözlem eğitimi, sanal gerçeklik ve müzik terapi bulunmaktadır. Literatür incelendiğinde, çeşitli hasta gruplarının rehabilitasyon programlarında bu güncel rehabilitasyon yaklaşımları geniş yer bulmaktadır. Hastaların klinik seyir tablosunun ve semptomlarının iyileştirilmesinde kas kuvveti, denge gibi fiziksel performans parametrelerinin geliştirilmesinde, psikolojik durumun iyileştirilmesinde önemli rol oynadığına dair kanıtlar mevcuttur.<sup>63</sup> Nörodejeneratif hastalıkları, ayna nöronların keşfinden kaynaklanan beyin organizasyonu hakkındaki yeni görüşlerin ve somutlaştırılmış biliş hipotezinin ışığında yeniden yorumlamak, klinik belirtilerin daha iyi anlaşılmasına ve rehabilitasyonu için yeni yollar açılmasına yardımcı olabilir. Ancak farklı nörodejeneratif hastalıklarda rehabilitasyon eğitimi planlanırken, davranışsal ve nöral farklılıklar dikkate alınmalıdır.<sup>64</sup> Normal ve anormal yaşlanmada ayna nöronların araştırılması, ayna nöronların işleyişi

hakkında daha farklı bilgiler edinmemizi sağlayacaktır. Çünkü yaşlanmaya tüm serebral, duyuşal ve bedensel işlevlerdeki değışiklikler eşlik etmektedir.<sup>65</sup> Bu bilgiler hastalara yardım edecek müdahalelerin geliştirilmesine olanak tanıyacak olmasından dolayı klinik uygulamada da faydalı olabilir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Ayna nöronların keşfi, son dönemlerin en önemli keşiflerinden biridir. Ayna nöronların bulunmasının, yeni bir biliş kavramına biyolojik bir alt tabaka sağladığı, eylemler ve algılar hakkındaki verileri yalnızca algıyı eylem planlama ve yürütmeye entegre etmek için değil, aynı zamanda çok çeşitli bilişsel işlevleri destekleyen sinirsel bir mekanizma olarak ilişkilendirdi. Hem belirli bir motor eylem gerçekleştirdiğinde hem de başka biri tarafından gerçekleştirilen aynı veya benzer eylem gözlemlendiğinde aktifleşen ayna nöronlar, “zihin okuyan hücreler” olarak da tanımlanmaktadır.<sup>10</sup> Ayna nöronların sahip olduğu fonksiyonlarından biri, gerçekleştirilen ya da gözlenen hareketleri taklit edebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Sadece yapılan eylemlerin değil, eylemlerin ilişkili olduğu amaç, niyet ve duygularla bağlantılı tüm olayları taklit edebilme becerisi sayesinde, hem duyuşal hem de motor becerilerin kazanılmasında bir köprü oluşturur. Fonksiyonel rezonans görüntüleme ve nörofizyolojik çalışmalar, ayna nöronların motor öğrenme, başkalarının eylemlerini ve niyetlerini tanımlamadaki taklit edebilme yeteneği, dil, empati ve hafızaya ilişkin kanıtları desteklemektedir.<sup>66</sup> Ayna nöronlar, görsel bilgilerle birlikte işitsel bilgilere de yanıt verir. İnsanların taklit ederek öğrenme, empati kurma, dil öğrenme gibi fonksiyonel becerilerini kazanmasında ayna nöronlar çok önemli bir yere sahiptir. Ayna nöronlar sadece motor becerileri değil, aynı zamanda duygudurumlarını da taklit edebilmektedir.<sup>64</sup> Edinilen duyuşal tecrübelerin ve etkisi altında kalınan durumların, yargılama ve karar verme süreçlerini etkilediği yapılan çalışmalarla gösterilmektedir. Ayna nöronların, empati kurma becerisi sayesinde taklit etme, hareketi anlama, motor öğrenme süreçlerinin gerçekleşmesi, yargılama ve karar verme üzerindeki etkileri ayna nöronların sosyal etkileşimde önemli bir yeri olduğunu

ortaya koymaktadır. Ayna nöronların bu kadar geniş bir etki mekanizmasına sahip olması, kompleks etkilene sahip nörodejeneratif hastalıklarda da rolü olduğunu göstermektedir. Özellikle ayna nöronların etkilenmesi bilişsel sürecin etkilenmesine de sebep olmaktadır.<sup>54</sup> Ayna nöronlarla ilgili son çalışmalarda; özellikle nörodejeneratif hastalıkların klinik semptomların yorumlanması, semptomların ilerlemesi ve farklı sorunların açığa çıkması için olası korunma mekanizmaları ve hastalıkların tedavi süreci gibi konularda rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesi için önemli bir katkı sağlayacağı bildirilmektedir.<sup>54</sup> Nörodejeneratif hastalıkların klinik semptomlarının ortaya çıkmasında rolü olan ayna nöronların, aktivasyonu ile ilgili değışimlerin farklılık gösterdiği bilinmektedir.<sup>17</sup>

Bu alanda yapılan çalışmaların çoğu önemli sonuçlar sunsa bile metodolojik yetersizlikler nedeniyle kanıt düzeyleri düşük bulunmuş olup, daha homojen grupları ve daha geniş örnekleme içeren çalışmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır. Derlememiz, bu bilgiler ışığında, ayna nöronların önemli fonksiyonlarına vurgu yaparak rehabilitasyona etkisini gösterebilecek daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Yapılacak çalışmalar sonucunda ayna nöronlar hakkında edinilecek bilgiler, yeni geliştirilecek rehabilitasyon yaklaşımlarına ve var olan yaklaşımların mekanizmalarının daha iyi anlaşılacak geliştirilmesine ışık tutabilecektir.

### Finansal Kaynak

*Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.*

### Çıkar Çatışması

*Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.*

### Yazar Katkıları

*Bu çalışma hazırlanırken tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.*

## KAYNAKLAR

1. Prather JF, Peters S, Nowicki S, Mooney R. Precise auditory-vocal mirroring in neurons for learned vocal communication. *Nature*. 2008;451(7176):305-10. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
2. Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci*. 2004;27:169-92. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
3. di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res*. 1992;91(1):176-80. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
4. Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res*. 1996;3(2):131-41. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
5. Heyes C. Mesmerising mirror neurons. *Neuroimage*. 2010;51(2):789-91. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
6. Wise SP, di Pellegrino G, Boussaoud D. The premotor cortex and non-standard sensorimotor mapping. *Can J Physiol Pharmacol*. 1996;74(4):469-82. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
7. Ferrari PF, Rozzi S, Fogassi L. Mirror neurons responding to observation of actions made with tools in monkey ventral premotor cortex. *J Cogn Neurosci*. 2005;17(2):212-26. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
8. Molenberghs P, Cunnington R, Mattingley JB. Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012;36(1):341-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
9. Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Mirrors of the mind. *Sci Am*. 2006;295(5):54-61. [[PubMed](#)]
10. Heyes C, Catmur C. What happened to mirror neurons? *Perspect Psychol Sci*. 2022;17(1):153-68. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
11. Catmur C, Mars RB, Rushworth MF, Heyes C. Making mirrors: premotor cortex stimulation enhances mirror and counter-mirror motor facilitation. *J Cogn Neurosci*. 2011;23(9):2352-62. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
12. Ferrari PF, Bonini L, Fogassi L. From monkey mirror neurons to primate behaviours: possible 'direct' and 'indirect' pathways. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2009;364(1528):2311-23. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
13. Newman-Norlund RD, Ondobaka S, van Schie HT, van Elswijk G, Bekkering H. Virtual lesions of the IFG abolish response facilitation for biological and non-biological cues. *Front Behav Neurosci*. 2010;4:5. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
14. Jeon H, Lee SH. From neurons to social beings: short review of the mirror neuron system research and its socio-psychological and psychiatric implications. *Clin Psychopharmacol Neurosci*. 2018;16(1):18-31. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
15. Tramacere A, Pievani T, Ferrari PF. Mirror neurons in the tree of life: mosaic evolution, plasticity and exaptation of sensorimotor matching responses. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 2017;92(3):1819-41. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
16. Sommerville JA, Woodward AL, Needham A. Action experience alters 3-month-old infants' perception of others' actions. *Cognition*. 2005;96(1):B1-11. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
17. Ferrari PF, Gallese V, Rizzolatti G, Fogassi L. Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *Eur J Neurosci*. 2003;17(8):1703-14. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
18. Pulvermüller F, Huss M, Kherif F, Moscoso del Prado Martin F, Hauk O, Shtyrov Y. Motor cortex maps articulatory features of speech sounds. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2006;103(20):7865-70. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
19. Jerjian SJ, Sahani M, Kraskov A. Movement initiation and grasp representation in premotor and primary motor cortex mirror neurons. *Elife*. 2020;9:e54139. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
20. Mahon BZ, Caramazza A. A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *J Physiol Paris*. 2008;102(1-3):59-70. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
21. Ruggiero M, Catmur C. Mirror neurons and intention understanding: Dissociating the contribution of object type and intention to mirror responses using electromyography. *Psychophysiology*. 2018;55(7):e13061. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
22. Schober P, Sabitzer B. Mirror neurons for education. *INTED2013 Proc*. 2013;40-5.
23. Schmidt R, Lee T. *Motor Learning and Performance: From Principles to Application*. 5th ed. 5E With Web Study Guide. Champaign, IL: Human Kinetics; 2013.
24. Kosonogov V. Why the mirror neurons cannot support action understanding. *Neurophysiology*. 2012;44(6):499-502. [[Crossref](#)]
25. Ramsey R, Kaplan DM, Cross ES. Watch and learn: the cognitive neuroscience of learning from others' actions. *Trends Neurosci*. 2021;44(6):478-91. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
26. Mara D. The function of mirror neurons in the learning process. *MATEC Web Conf*. 8th International Conference on Manufacturing Science and Education; 2017 Aug 9. Vol. 121. Article Number: 12012. [[Crossref](#)]
27. Thanikkal S. Mirror neurons and imitation learning in early motor development. *Asian J Appl Res*. 2019;5(1):37-42. [[Crossref](#)]
28. Sadeghi S, Schmidt SNL, Mier D, Hass J. Effective connectivity of the human mirror neuron system during social cognition. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2022:nsab138. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
29. Oztop E, Kawato M, Arbib MA. Mirror neurons: functions, mechanisms and models. *Neurosci Lett*. 2013;540:43-55. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
30. Waters T. Of looking glasses, mirror neurons, culture, and meaning. *Perspect Sci*. 2014;22(4):616-49. [[Crossref](#)]
31. Bekkali S, Youssef GJ, Donaldson PH, Albein-Urios N, Hyde C, Enticott PG. Is the putative mirror neuron system associated with empathy? A systematic review and meta-analysis. *Neuropsychol Rev*. 2021;31(1):14-57. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
32. Kang W, Pineda Hernández S, Mei J. Neural mechanisms of observational learning: a neural working model. *Front Hum Neurosci*. 2021;14:609312. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
33. Rizzolatti G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V. From mirror neurons to imitation: facts and speculations. *Imitative Mind*. 2009;6:247-66. [[Crossref](#)]
34. Vogt S, Buccino G, Wohlschläger AM, Canessa N, Shah NJ, Zilles K, et al. Prefrontal involvement in imitative learning of hand actions: effects of practice and expertise. *Neuroimage*. 2007;37(4):1371-83. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
35. Buccino G, Vogt S, Ritzl A, Fink GR, Zilles K, Freund HJ, et al. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron*. 2004;42(2):323-34. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
36. Pineda JA. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: Does it solve the development, correspondence, and control problems in mirroring? *Behav Brain Funct*. 2008;4:47. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
37. de Waal FB. The antiquity of empathy. *Science*. 2012;336(6083):874-6. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
38. Ramachandran G. Intersectionality as "catch 22": why identity performance demands are neither harmless nor reasonable. *Albany Law Rev*. 2005;69(1):299-342. [[Link](#)]
39. Caggiano V, Fogassi L, Rizzolatti G, Casile A, Giese MA, Thier P. Mirror neurons encode the subjective value of an observed action. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2012;109(29):11848-53. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]

40. Hunt PA, Denieffe S, Gooney M. Burnout and its relationship to empathy in nursing: a review of the literature. *J Res Nurs*. 2017;22(1-2):7-22. [[Crossref](#)]
41. Iacoboni M. Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annu Rev Psychol*. 2009;60:653-70. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
42. Gazzaniga MS. *The Mind's Past*. 1st ed. California: University of California Press; 1998.
43. Neill TPO. "The stepford justices": the need for experiential diversity on the roberts court. *Oklahoma Law Rev*. 2007;60(4):701. [[Link](#)]
44. O'Neill T. Mirror neurons, the new neuroscience, and the law: some preliminary observations. *Southwest Univ Law Rev*. 2010;39(3):39. [[Link](#)]
45. Lamm C, Decety J, Singer T. Meta-analytic evidence for common and distinct neural networks associated with directly experienced pain and empathy for pain. *Neuroimage*. 2011;54(3):2492-502. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
46. Zaki J, Ochsner KN. The neuroscience of empathy: progress, pitfalls and promise. *Nat Neurosci*. 2012;15(5):675-80. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
47. İmamoğlu Sz, Latifoğlu N, İnce H. Örgütsel davranış literatüründeyeni bir perspektif nörobilim [A new perspective in the organizational behaviour literature: neuroscience]. *Doğuş Üniversitesi Derg*. 2021;22(2):89-105. [[Crossref](#)]
48. Collins AGE, Shenhav A. Advances in modeling learning and decision-making in neuroscience. *Neuropsychopharmacology*. 2022;47(1):104-18. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
49. Christov-Moore L, Conway P, Iacoboni M. Deontological dilemma response tendencies and sensorimotor representations of harm to others. *Front Integr Neurosci*. 2017;11:34. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
50. Conway P, Gawronski B. Deontological and utilitarian inclinations in moral decision making: a process dissociation approach. *J Pers Soc Psychol*. 2013;104(2):216-35. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
51. Gleichgerrcht E, Young L. Low levels of empathic concern predict utilitarian moral judgment. *PLoS One*. 2013;8(4):e60418. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
52. Urgesi C, Candidi M, Avenanti A. Neuroanatomical substrates of action perception and understanding: an anatomic likelihood estimation meta-analysis of lesion-symptom mapping studies in brain injured patients. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:344. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
53. Paracampo R, Tidoni E, Borgomaneri S, di Pellegrino G, Avenanti A. Sensorimotor network crucial for inferring amusement from smiles. *Cereb Cortex*. 2017;27(11):5116-29. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
54. Farina E, Borgnis F, Pozzo T. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders. *J Neurosci Res*. 2020;98(6):1070-94. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
55. Moustafa AA, Poletti M. Neural and behavioral substrates of subtypes of Parkinson's disease. *Front Syst Neurosci*. 2013;7:117. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
56. Dubois B, Villain N, Frisoni GB, Rabinovici GD, Sabbagh M, Cappa S, et al. Clinical diagnosis of Alzheimer's disease: recommendations of the International Working Group. *Lancet Neurol*. 2021;20(6):484-96. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
57. Bisio A, Casteran M, Ballay Y, Manckoundia P, Mourey F, Pozzo T. Motor resonance mechanisms are preserved in Alzheimer's disease patients. *Neuroscience*. 2012;222:58-68. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
58. Lillo P, Caramelli P, Musa G, Parrao T, Hughes R, Aragon A, et al. Inside minds, beneath diseases: social cognition in amyotrophic lateral sclerosis-frontotemporal spectrum disorder. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2020;91(12):1279-82. [[PubMed](#)]
59. Khalil R, Tindle R, Borad T, Moustafa AA, Karim AA. Social decision making in autism: On the impact of mirror neurons, motor control, and imitative behaviors. Vol. 24. *CNS Neuroscience and Therapeutics*. Hoboken: Blackwell Publishing Ltd; 2018. p.669-76. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
60. Pelosin E, Barella R, Bet C, Magioncalda E, Putzolu M, Di Biasio F, et al. Effect of group-based rehabilitation combining action observation with physiotherapy on freezing of gait in Parkinson's disease. *Neural Plast*. 2018;2018:4897276. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
61. Maggio MG, Piazzitta D, Andaloro A, Latella D, Sciarrone F, Casella C, et al. Embodied cognition in neurodegenerative disorders: what do we know so far? A narrative review focusing on the mirror neuron system and clinical applications. *J Clin Neurosci*. 2022;98:66-72. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
62. Farina E, Baglio F, Pomati S, D'Amico A, Campini IC, Di Tella S, et al. The mirror neurons network in aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer disease: a functional MRI study. *Front Aging Neurosci*. 2017;9:371. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
63. Harı E, Cengiz C, Kılıç F, Yurdakoş E. Ayna nöro sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım [A clinical approach to the mirror neuron system and its functions]. *İst Tıp Fak Derg*. 2020;430-8. [[Crossref](#)]
64. Hardwick RM, Caspers S, Eickhoff SB, Swinnen SP. Neural correlates of action: comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neurosci Biobehav Rev*. 2018;94:31-44. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
65. Vallet GT. Embodied cognition of aging. *Front Psychol*. 2015;6:463. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
66. Thompson EL, Bird G, Catmur C. Conceptualizing and testing action understanding. *Neurosci Biobehav Rev*. 2019;105:106-14. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]