

## Kuramsal Derleme

## Algısal Karar Verme Süreçleri Çerçevesinde İnsan Hareketlerini Tanıma

Burcu A. ÜRGEN\*<sup>1</sup>, Şeyda EVSEN<sup>2</sup><sup>1</sup> Bilkent Üniversitesi, Psikoloji Bölümü ve Nörobilim Bölümü, Ankara, Türkiye<sup>2</sup> Bilkent Üniversitesi, Nörobilim Bölümü, Ankara, Türkiye

## Makale Bilgisi

## Öz

Anahtar  
Kelimeler:algısal karar  
verme,  
biyolojik hareket  
algısı,  
CPP,  
EEG,  
görsel algı

İnsan olmayan primatlarla yapılan nörofizyolojik çalışmalar, algısal karar vermeyi iki aşamalı bir süreçle karakterize etmektedir: 1) duyuşal kanıt birikimi (accumulation of sensory evidence), 2) yanıt seçimine yol açan karar sınırı (decision bound). Bu çalışmalar yaygın olarak rastgele nokta hareketi uyaranlarını kullanmış ve hareket uyaranlarının uyumluluğu arttıkça lateral intraparietal bölge (LIP)'deki nöronların ateşleme hızının arttığını ve davranışsal tepki süresinin azaldığını göstermiştir. Son zamanlarda insanlarda yapılan EEG çalışmaları, LIP nöronları ile benzer fonksiyonel özellikler gösteren ve duyuşal kanıt birikimi süreci ile ilişkili olan CPP (Centro-Parietal Positivity) olaya ilişkin potansiyelini ortaya çıkarmıştır. CPP bileşeninin parametrelerinin alınan kararlara dair önemli bilgiler taşıdığı gösterilmiştir. Ancak, bugüne kadar yapılan çalışmalar, süreci en temel haliyle anlayabilmek için basit ve düşük seviyeli uyaranlar kullanmıştır. Algısal karar verme süreçlerinin, canlıların ve özellikle de insanların eylemleri gibi daha karmaşık ve sosyal olarak daha anlamlı uyaranlar (biyolojik hareket) işlerken benzer olup olmayacağı cevabı henüz bilinmeyen bir sorudur. Başka bir deyişle, bugüne kadar yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılan algısal karar verme süreçlerinin, uyarandan bağımsız, genel-geçer süreçler olup olmadığı bilinmemektedir. Bu derleme makalede, insan eylemlerinin tanınmasında rol oynayan algısal karar verme süreçleri ve bu süreçlerin nörofizyolojik temellerini araştırılmasının önemi üzerinde durulmuş ve bu çalışmalara yön veren ve daha basit uyaranlar ile yapılmış algısal karar verme çalışmalarının bir derlemesi sunulmuştur. Sonuç bölümünde, bu alanda yapılacak araştırmaların gerek klinik popülasyonlar (psikolojik ve nörolojik rahatsızlıklar) için teşhis ve tedavi geliştirmede, gerekse insan hayatının refahını yükseltecek yapay zekâ teknolojileri geliştirmedeki öneminden bahsedilmiştir.

## Abstract

## Keywords:

perceptual decision-  
making,  
biological motion  
perception,  
CPP,  
EEG,  
visual perception

Neurophysiological studies in non-human primates characterize perceptual decision-making as a two-stage process: 1) accumulation of sensory evidence and 2) decision boundary leading to response selection. These studies commonly used random dot motion stimuli and demonstrated that firing rates of neurons in the lateral intraparietal area (LIP) increase and behavioral response times decrease as the coherence of motion stimuli increases. Recent EEG studies in humans have revealed the Centro-Parietal Positivity (CPP) potential, which exhibits similar functional properties to LIP neurons and is associated with the process of accumulating sensory evidence. It has been shown that the parameters of the CPP component carry important information about the decisions made. However, previous studies have mainly used simple and low-level stimuli to understand the process in its most basic form. Whether perceptual decision-making processes generalize to more complex and socially meaningful biological motion stimuli, such as human actions, remains unknown. This review article emphasized the significance of investigating the neurophysiological basis of perceptual decision-making processes involved in the recognition of human actions and presented a compilation of studies on perceptual decision-making conducted with simpler stimuli that have guided and shaped these investigations. In the conclusion section, we talked about the implications of research in this field to the diagnosis and treatment of many psychological and neurological disorders and the development of artificial intelligence technologies that would improve the well-being of humans.

\*Sorumlu yazar, Psikoloji Bölümü, Bilkent Üniversitesi, 06800, Bilkent, Ankara, Türkiye

e-posta: [burcu.urgun@bilkent.edu.tr](mailto:burcu.urgun@bilkent.edu.tr)

DOI: 10.31682/ayna.1344345

Gönderim Tarihi: 16.08.2023; Kabul Tarihi: 06.05.2024

ISSN: 2148-4376



## Giriş

Görsel sistemimizin en önemli fonksiyonlarından biri çevremizdeki canlıların hareketlerini tespit etmektir. Canlıların, özellikle de insanların hareketleri doğadaki diğer hareketlerden farklılaşmaktadır ve biyolojik hareket olarak bilinmektedir (Blake ve Shiffrar, 2007). Biyolojik hareketi algılama yeteneği, günlük hayatta aldığımız pek çok kararda hayati bir öneme sahiptir (Blake ve Shiffrar, 2007; Johnson ve Shiffrar, 2013; Pavlova, 2012; Rutherford ve Kuhlmeier, 2013). Örneğin araba sürerken yola aniden bir yayanın ya da köpeğin çıktığını düşünün. Görsel sistemimiz, hareketin bir canlıya ait olduğunu tespit ederek, frene basıp yavaşlamamızı ya da durmamızı sağlayacaktır. Tespit edemediğimiz durumda, bu durumun hayati sonuçları olabilecektir.

Bugüne kadar insan hareket ve eylemlerini tanıma üzerine yapılan çalışmalar, daha çok erken seviye uyarının işlenmesi süreci üzerine odaklanmış ve algısal süreci bütüncül bir çerçevede değerlendirememiştir. İnsan eylemlerini tanıma literatüründe, uyarının işlenmesi süreci üzerine yapılan çalışmalar, uyarının yapısı üzerinde manipülasyonlar yaparak süreci anlamaya çalışmıştır. Burada uyarının yapısından kastedilen şey, bir insan eylemini oluşturan iki temel bileşen, yani şekil (form) ve harekettir (motion). Bugüne kadar yapılan çalışmalar, bu iki temel bileşenin görsel sistemimizde nasıl işlendiğini ve nasıl birleştirilerek insan eylemlerinin tanındığını araştırmıştır (Beintema ve diğerleri, 2006; Casile ve Giese, 2005; Garcia ve Grossman, 2008; Giese ve Poggio, 2003; Grossman ve Blake, 2002; Lange ve Lappe, 2006; Thirkettle ve diğerleri, 2009; Thompson ve Baccus, 2012; Thurman ve Grossman, 2008; Thurman ve diğerleri, 2010). Bu çalışmalar, insan eylemlerinin aşağıdan yukarı (bottom-up) nasıl işlendiği konusunda aydınlatıcı olsa da uyarının işlenmesinden öteye giden algısal süreçleri, özellikle de yüksek seviye süreçlerini, örneğin karar verme süreçlerini göz ardı etmiştir. Bu da insan eylemlerinin tanınmasının altında yatan süreçlerin bütüncül olarak anlaşılmasına neden olmuştur.

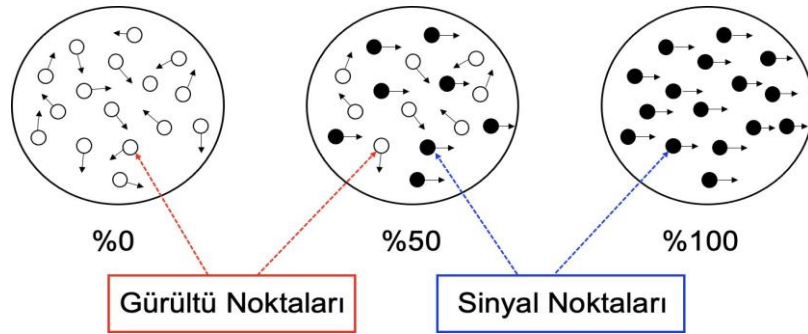
Bu derleme makalede, biyolojik hareketin ve özellikle de kendi türümüz olan insanların eylemlerinin tanınmasında rol oynayan algısal karar verme süreçlerinin ve bu süreçlerin nörofizyolojik temellerinin araştırılmasının önemi üzerinde durulacak ve bu çalışmalara yön veren ve daha basit uyarılar ile yapılmış algısal karar verme çalışmalarının bir derlemesi sunulacaktır.

## Algısal Karar Verme Süreçleri ve Nörofizyolojik Temelleri

Algısal karar verme süreçleri ve nöral temelleri, pek çok yöntem kullanılarak çalışılmıştır (Gold ve Shadlen, 2007; Heekeren ve diğerleri, 2008; Hanks ve Summerfield, 2017; O'Connell ve diğerleri, 2018). Bu yöntemler arasında maymunlar ile yapılan

nörofizyolojik çalışmalar, modelleme çalışmaları ve insanlar ile yapılan davranışsal ve beyin görüntüleme çalışmaları yer almaktadır. Bu bölümde bu yöntemlerin her birine değinilecektir.

Algısal karar verme süreçlerini araştıran çalışmaların sıklıkla kullandığı uyaranlardan biri rastgele nokta uyarandır (Şekil A1). Rastgele nokta uyararı, rastgele yönlere hareket eden noktalardan oluşmaktadır. Ancak hareket eden noktaların bir bölümünün belirli bir yöne hareket ettirilmesiyle, uyararın uyumluluğu (coherence) değıştirilebilmektedir. Örneğin, toplamda 100 hareketli noktadan oluşan bir uyararın, 50 noktasının sağa doğru hareket etmesiyle %50 uyumluluk yaratılabilir (diğer 50 nokta rastgele hareket etmek şartıyla). Eğer tüm noktalar aynı yöne doğru hareket ediyorsa, o durumda %100 uyumluluğun olduğu söylenir. Uyumlu bir şekilde hareket eden noktalara sinyal noktaları, uyumsuz bir şekilde hareket eden noktalara da gürültü noktaları denilmektedir (Salzman ve diğerleri, 1992). Gürültü noktalarının deneysel paradigmalara eklenmesindeki en büyük motivasyon, günlük hayatta görsel sistemin işlediği uyararların her zaman belirli ve net olmayacağıdır. Örneğin hareket etmekte olan bir arabanın bir kısmı, başka arabalar ya da yoldaki diğer unsurlar (ağaçlar, tabelalar) tarafından kapatılabilir ve arabanın hareketiyle ilgili net bir bilgi gelmeyebilir.

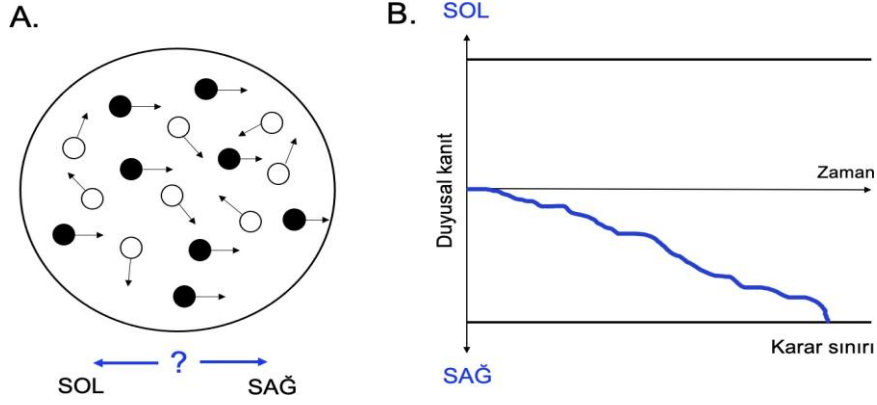


Şekil A1. Rastgele nokta paradigmasında kullanılan ve farklı uyumluluk seviyelerindeki uyararlardan örnekler

Algısal karar verme süreçlerini araştıran çalışmalarda rastgele nokta uyararı kullanılan temel paradigma şöyledir: Rastgele nokta uyararı çeşitli uyumluluk seviyelerinde gösterilir (örneğin %0, %10, %20, %30, %40) ve katılımcılardan noktaların hangi yöne doğru gittiğini tespit etmeleri istenir. Bu paradigma, nörofizyolojik olarak insan olmayan primatlarda (maymunlarda) sıklıkla çalışılmıştır (Gold ve Shadlen, 2007). Maymunlar noktaların bir bölümü sola gidiyorsa sola, sağa gidiyorsa sağa doğru göz hareketi yapmaları için eğitilmiştir. Bu çalışmalarda, bağımlı değişken olarak göz hareketleri (saccades) ve nöronların ateşleme

oranı (firing rate) ölçülmüştür. Sonuçlar, uyumluluk arttıkça göz hareketi ile cevap verme süresinin (reaction time) kısaldığını ve cevapların doğruluğunun arttığını göstermiştir. Nöronlardan alınan kayıtlar (parietal lobdaki lateral intraparietal bölgeden (LIP)) ise uyumluluk arttıkça, ateşleme oranının arttığını ve en yüksek ateşleme seviyesine erişmek için geçen sürenin kısaldığını göstermiştir. LIP bölgesinde görülen bu patern, noktaların hareket yönüne duyarlı olan ve hareket algısının nöral temeli olarak bilinen middle temporal (MT) bölgesinde farklılık göstermiştir. Bu da LIP'nin MT'ye kıyasla algısal karar vermede önemli bir bölge olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada elde edilen diğer önemli bir bulgu da LIP nöronlarının hareket uyarana ve cevap vermek için kullanılan göz hareketlerine verdiği farklı tepkilerdir. Bu tepkileri ölçmek için iki farklı analiz yapılmıştır. Birinci analizde, başlangıç noktası olarak (0 noktası) hareket uyarınının gösterildiği an alınmıştır. Bu da LIP nöronlarının direkt olarak uyarana verdiği tepkiyi ve uyarana nasıl işlediğini göstermektedir. İkinci analizde ise, başlangıç noktası olarak (0 noktası) cevap verme anı (göz hareketinin yapıldığı an: eye movement) alınmıştır. Bu da LIP nöronlarının, cevap verme anında tek bir ortak noktada buluştuklarını göstermektedir. Bu sonuçlar ışığında, algısal karar verme mekanizması bu alanda en çok kabul gören bir model ile açıklanmaktadır. Sürüklenme Difüzyon Modeli (Drift Diffusion Model) ya da Difüzyon Karar Verme Modeli (Diffusion Decision Model) olarak adlandırılan bu model (Ratcliff ve McKoon, 2008; Smith ve Ratcliff, 2004), iki ana bileşenden oluşmaktadır: Duyusal kanıt birikimi (sensory evidence accumulation) ve karar sınırı (decision boundary) (Şekil A2, Bach ve diğerleri, 2011'den uyarlanmıştır). Bu modele göre, algısal karar verme sürecinde, beyin öncelikle duyulardan çevremizle ilgili (örneğin uyarana) veri toplar ve zaman içinde bu bilgileri biriktirir. Bu birikim sonucunda da bir karara varır. Duyusal kanıtın birikerek ulaştığı karar verilen noktaya karar sınırı denilmektedir. Karar verme sürecinin zorluğuna bağlı olarak, duyusal kanıtın yeteri kadar birikip karar sınırına erişmesi de gecikmiş olmaktadır. Örneğin, yukarıda bahsedildiği üzere, uyumluluğu yüksek olan bir rastgele nokta uyarana ile ilgili karar verme sürecinde, karar sınırına ulaşılması, uyumluluğu düşük olan bir rastgele uyarana göre hızlı olacaktır. Bu da uyumluluğa bağlı olarak cevap verme sürelerindeki kısalma ve nöronların ateşlemelerinde doruğa ulaşma sürelerindeki kısalma ile paralellik göstermektedir (Bach ve diğerleri, 2011).

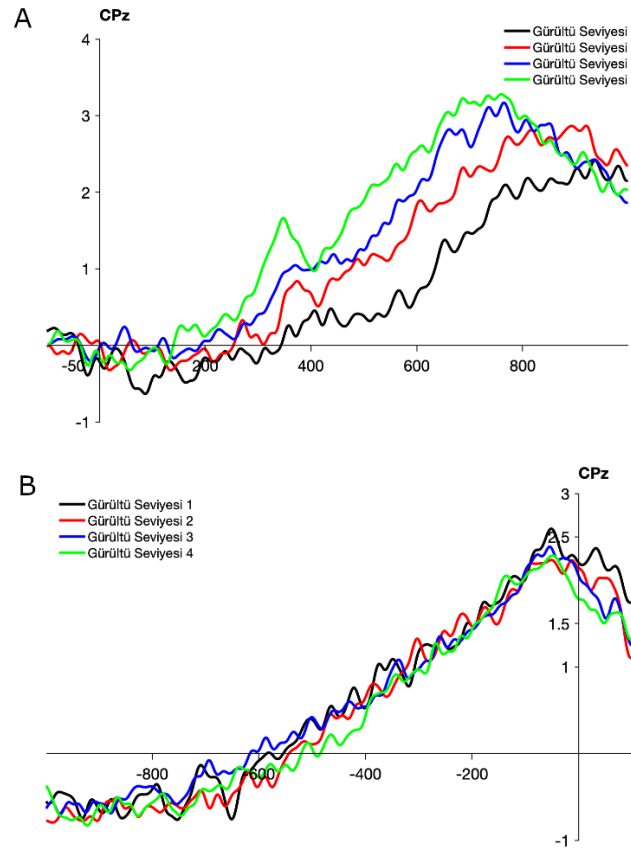


Şekil A2. A. Sağ-sol cevabı istenen bir rastgele nokta paradigması, B. Rastgele nokta paradigmasında yer alan karar verme süreçlerini modelleyen Sürüklenme Difüzyon Modeli (Drift Diffusion Model)

Algısal karar verme süreçlerini çalışmak üzere, maymunlarda rastgele nokta uyararı kullanılarak oluşturulan paradigmlar, insanlarda da invazif olmayan ve zamansal çözünürlüğü iyi olan nörofizyolojik yöntemlerle (EEG) kullanılmıştır (Kelly ve O'Connell, 2013, 2015; Twomey ve diğerleri, 2015). Bu çalışmalarda, bağımlı değişken olarak noktaların hangi yöne doğru hareket ettiğine dair cevap verme süresi (reaction time) ve olaya ilişkin potansiyeller (ERP) ölçülmüştür.

Bu çalışmaların en önemlilerinden biri Kelly ve O'Connell (2013)'in çalışmasıdır. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen çalışmada olduğu gibi rastgele nokta uyarının uyumluluğu manipüle edilmiştir. Her denemede, farklı seviyede uyumluluk gösteren (%25, %35, %50, %70) nokta uyararı gösterilmiş ve katılımcılardan noktaların hangi yöne doğru hareket ettiğini (sağa mı, sola mı?) tespit etmeleri istenmiştir. Maymunlarda yapılan çalışmalardan farklı olarak, her denemeden önce %0 uyumluluğu olan (başka bir deyişle tamamen rastgele hareket eden) nokta uyararı gösterilmiştir. Bu gösterimde, %0 uyumluluğu olan (tamamen rastgele hareket eden) nokta uyararından, belirli seviyede uyumluluğu olan (örneğin %35) nokta uyararına yumuşak bir geçiş yapılmıştır. Böyle bir geçiş yapılmasının sebebi, olaya ilişkin potansiyellerin (ERP), herhangi bir hareket uyararına verdiği cevaplarının değil de belirli bir uyumluluk gösteren hareket uyararına verdiği cevaplarının ölçülmek istenmesidir. Başka bir deyişle, eğer her denemeden önce %0 uyumluluğu olan rastgele nokta uyararı konulmamış olsaydı, her denemede ölçülen olaya ilişkin potansiyel, uyumluluktan bağımsız, sadece harekete verilen cevap olabilirdi. Katılımcıların, ekrandaki HEDEF uyarının ne zaman çıkacağı konusunda tahmin yürütememeleri için, hedeften önce gösterilen rastgele nokta uyararının gösterilme süresi, her denemede değişkenlik göstermiştir (3.6 saniye ile 8.4 saniye arası).

Bu çalışmanın davranışsal sonuçları göstermiştir ki ekranda gösterilen hedef nokta uyarının uyumluluğu arttıkça (yani gürültü seviyesi azaldıkça), katılımcıların cevap verme süresi kısalmış ve kaçırma oranı azalmıştır. Olaya ilişkin potansiyeller ise iki şekilde analiz edilmiştir. İlk analizde, ekranda gösterilen hedef uyarının ekranda gösterilme anı o başlangıç noktası olarak alınmıştır. Bu analize göre nokta uyarının uyumluluğu arttıkça (yani gürültü seviyesi azaldıkça), parietal bölgeler üzerindeki elektrotlarda yoğunlaşan 200-800 ms aralığındaki pozitif elektriksel potansiyel değişimi sistematik bir değişiklik göstermiştir. Bu potansiyel CPP (central positive potential) olarak adlandırılmıştır ve uyumluluk arttıkça (gürültü seviyesi azaldıkça) CPP'nin zirveye ulaşma süresi kısalmış ve genliği (amplitude) artmıştır (Şekil A3, üst taraf). Bu haliyle, CPP'nin, algısal karar verme süreçlerinin iki aşamasından biri olan ve yukarıda tanımlanan duyuşal kanıt birikimi aşamasını temsil ettiği düşünülmüştür.



Şekil A3. A. uyarana kilitli CPP, B. cevaba kilitli CPP (x eksenini zamani (milisaniye), y eksenini EEG voltaj değişimini (mikro volt) göstermektedir; temsili bir grafikdir, orijinal çalışmadan alınmamıştır).

İkinci analizde ise, cevap verme anı o başlangıç noktası olarak alınmıştır. Aynı elektrotlar üzerinde yapılan bu analizde ise farklı uyumluluk seviyelerindeki tüm uyaran koşullarının, karar verme anı olan o noktasında birleştikleri gözlenmiştir (Şekil A3, alt taraf). Bu haliyle ise, CPP'nin aynı zamanda algısal karar verme süreçlerinin ikinci aşaması olan karar sınırına varma aşamasını da temsil ettiği düşünülmüştür.

Özet olarak, Kelly ve O'Connell (2013) çalışması, insanlarda algısal karar verme süreçlerinin nörofizyolojisini gösteren bir çalışma olarak alana çok önemli kavramsal ve metodolojik bir katkı yapmıştır.

### **İnsan Eylemlerini Tanımada Karar Verme Mekanizmaları**

Kelly ve O'Connell'in (2013) çalışması, görsel algı alanında pek çok yeni soruyu beraberinde getirmiştir. En önemli sorulardan biri, bu çalışmada ortaya konulan karar verme süreçlerinin ve nörofizyolojik temellerinin, rastgele hareket uyararı gibi basit hareketlerden, insanların eylemleri gibi daha karmaşık ve sosyal olarak anlamlı hareketlere genellenip genellenmeyeceğidir. Bu sorunun cevaplanabilmesi, karar verme mekanizmalarını genel olarak basit uyaranlarla çalışan araştırmacılar için çok önemli sonuçlar doğuracaktır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, karar verme mekanizmaları daha çok genel-geçer mekanizmalar olarak sunulmaktadır ancak kısıtlı uyaran tipleri kullanılması sebebiyle bu varsayımın doğru olup olmadığı bilinmemektedir.

Platonov ve Orban (2016), gözlemlenen insan eylemlerinin ayrıştırılmasını inceledikleri çalışmalarında iki farklı ayrıştırma görevi kullanarak, ışıklı-nokta uyaran veya statik resimlere göre daha karmaşık bir uyaran olan doğal hareket uyarılarının gözlenmesinin, bir objenin veya sahnenin (scene) algılanmasından farklılaştığına ve hareket eden vücut uzuvları tarafından oluşturulan görsel girdinin zamansal entegrasyonuna dayalı olduğuna destek sağlamıştır. Çalışmalarında, manipülasyon sınıfına ait 4 farklı hareket örneği (yuvarlama, döndürme, kavrama ve kendine doğru çekme) seçilmiş ve bu hareketlerden farklı versiyonlar oluşturularak (yani, objenin değiştirilmesi, aktörün değiştirilmesi gibi) 3 saniyeden kısa videolar oluşturulmuştur. Daha sonra, bu videolarda bulunan sinyal-gürültü oranını (ya da uyumluluğu) değiştirmek için her videoda bulunan her bir resim karesi (frame) içerisinde bulunan her pikseli, o pikselden belirli bir uzaklıkta bulunan diğer piksellerden biri ile belirli bir sinyal seviyesi tanımlayarak değiştirmiş ve bu şekilde her bir hareket örneği için birden fazla sinyal seviyesine (SL) sahip farklı versiyonlar oluşturmuşlardır. Birinci deneyde, katılımcılardan yuvarlama ve döndürme hareketlerini ayrıştırmaları ve cevaplarını ilgili tuşa basarak vermeleri istenmiş ve elde edilen davranışsal verilerin bir difüzyon modeli çerçevesinde modellenilebildiği gösterilmiştir. İkinci deneyde, ilk deneyde elde edilen

sonuçların genellenabilirliğini test etmek amacı ile katılımcılardan bir objeyi kendine çekme ve kavrama hareketlerini ayrıştırılmaları istenmiş ve bu verilerin de bir difüzyon modeli çerçevesinde modellenenildiği gösterilmiştir. Üçüncü deneyde, katılımcılardan ön ve yan açıdan çekilmiş hareket videolarının ayrıştırılması istenmiş ve gözlemlenen hareketin algılanmasının görüş açısına katı bir şekilde bağlı olmadığı ortaya koyulmuştur. Çalışmanın diğer deneylerinin sonucunda ise hareket algısının, şekil ve sahne algısından farklı olduğunu ve hareket algısının statik resimler gösterilmesine indirgenemeyeceğini ve hareket algısının obje veya görüntü algısına göre daha uzun zamana gereksinim duyduğunu göstermişlerdir.

Manipülasyon sınıfına dahil olan eylem örnekleri için buldukları bu sonuçların genellenebilirliğini test etmek için Platonov ve Orban (2017) çalışmasında, manipülasyon sınıfı ile birlikte iki farklı eylem sınıfına daha yer vermişlerdir. Bu sınıflar, yer değiştirme (locomotion) (örn. yürüme, koşma, vs.) ve kendine yönelik yapılan eylemler (skin-displacement) (örn. yüzünü kaşıma, ovalama, vs.) sınıflarıdır. Farklı eylem sınıflarını incelemelerinin altında yatan en önemli neden ise, son yıllarda yapılan beyin görüntüleme çalışmalarında farklı eylem sınıflarının özellikle parietal korteksin farklı bölgelerini aktive ettiği bulgusudur (Abdollahi ve diğerleri, 2013; Corbo ve Orban, 2017; Ferri ve diğerleri, 2015; Ürgen ve Orban, 2021). Bu bulgu, farklı eylem sınıflarına dair karar verme süreçlerinin de en azından parametrik olarak farklı olabileceği hipotezini doğurmuştur. Bu hipotezi test etmek üzere, Platonov ve Orban (2017), yine bir önceki çalışmalarında olduğu gibi, her eylem örneği için farklı SL'ye sahip versiyonlar oluşturmuşlar ve katılımcılardan, ayrı deney oturumlarında, yer değiştirme ve kendine yönelik yapılan eylem sınıflarına ait örnekler arasında ayrıştırma yapmalarını istemişlerdir.

Katılımcıların davranışsal performansı, uyarandaki duyuşal kanıt miktarının azalması ile, doğruluğun azalıp yanıt süresinin arttığını göstermiştir. Farklı hareket sınıflarının ayrıştırılmasına ait veriler incelendiğinde elde edilen ilginç bir bulgu şudur: Uyarı tamamen uyumsuz (yani, tamamen gürültülü) olduğunda, yer değiştirme sınıfının bir örneğini algılayıp cevap vermek için gereken süre diğer örneklere cevap vermek için gereken süreden daha uzundur. Oysa uyumluluk seviyesi maksimuma ulaştığında (yani gürültüsüz) tüm eylem sınıflarını ayırt etmek için gereken süre yaklaşık olarak aynıdır. Elde edilen veriler bir difüzyon modeli çerçevesinde modellenildiğinde, difüzyon modeli, cevap süresindeki bu farklılığın nedenini, sınır parametresinin (bound) yer değiştirme eylemleri için daha yüksek bir değere sahip olması olarak açıklamıştır. Üç hareket sınıfı arasındaki farklılıkların etkisi, yapılan istatistiksel analiz ile model parametreleri (doğruluk eşiği, sınır ve sürüklenme oranı) üzerinde gözlenmiştir: (1) kendine yönelik eylemlerin ve yer değiştirme eylemlerinin doğruluk eşiği değerleri arasında, manipülasyon ve yer değiştirme eylemlerinin doğruluk eşiği değerleri



arasında önemli fark, (2) manipülasyon ve yer değiştirme eylemlerinin sınır değerleri arasında, yer değiştirme ve kendine yönelik yapılan eylemlerin sınır değerleri arasında önemli fark, (3) manipülasyon ve kendine yönelik eylemlerin sürüklenme oranı arasında önemli fark bulunmuştur.

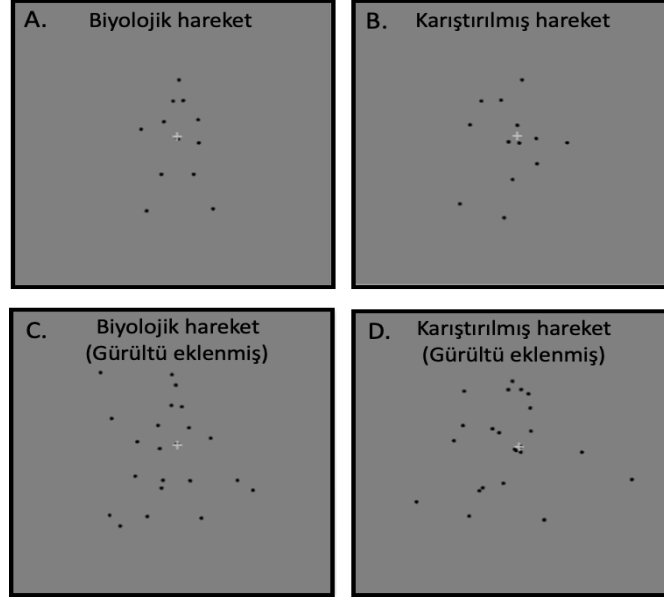
Özet olarak, bu çalışma gözlemlenen eylem sınıfları arasında hem algısal performans hem de difüzyon modeline ait parametrelerde açık farklılıkları ortaya koymuş ve ilk defa uyaran karakteristiklerinin (eylem sınıflarının) model parametrelerini, özellikle sınır parametresini, etkilediğini göstermiştir.

### **İnsan Eylemlerini Tanımda Karar Verme Mekanizmalarının Nörofizyolojik Temelleri**

Platonov ve Orban tarafından yapılan ve önceki bölümde bahsedilen iki önemli çalışmaya rağmen insan hareketlerini tanımda geçerli olan karar verme mekanizmalarının nöral temelleri konusunda yapılan yalnızca bir çalışma mevcuttur (Oğuz ve diğerleri, 2024). Bu çalışma, basit nokta-ışık gösterimlerinden oluşan biyolojik hareket ve kontrol olarak kullanılan karıştırılmış hareket uyaranlarını (Şekil A4) kullanarak, yürüme eylemi yapan bir nokta ışıklı uyarının hareket yönü ayrıştırılması görevi sırasında EEG kayıtları almıştır. Bu çalışma, rastgele nokta uyaranları kullanan Kelly ve O'Connell'in (2013) çalışmasında kullanılan karar verme paradigmasını adapte etmiştir. Biyolojik hareket uyarınının sinyal-gürültü seviyesinin manipülasyonu ise hareket uyarısına ekstra noktalar ekleyerek yapılmıştır (Şekil A4). Oğuz ve diğerleri (2024), daha basit hareket uyararı kullanan Kelly ve O'Connell (2013) ile benzer bir paradigma kullanmışlardır. Kısa bir odaklanma ekranının ardından, belirsiz bir süre (3-8 saniye) gürültü içinde karıştırılmış hareket ve onu takiben de yine aynı gürültü seviyesi içinde biyolojik hareket uyararı gösterilmiştir. Katılımcılar, biyolojik hareket uyararı olarak gösterilen insanın ne tarafa doğru yürüdüğü (sağa ya da sola) konusunda iki seçeneekli bir karar verme görevi yapmışlardır (Şekil A5).

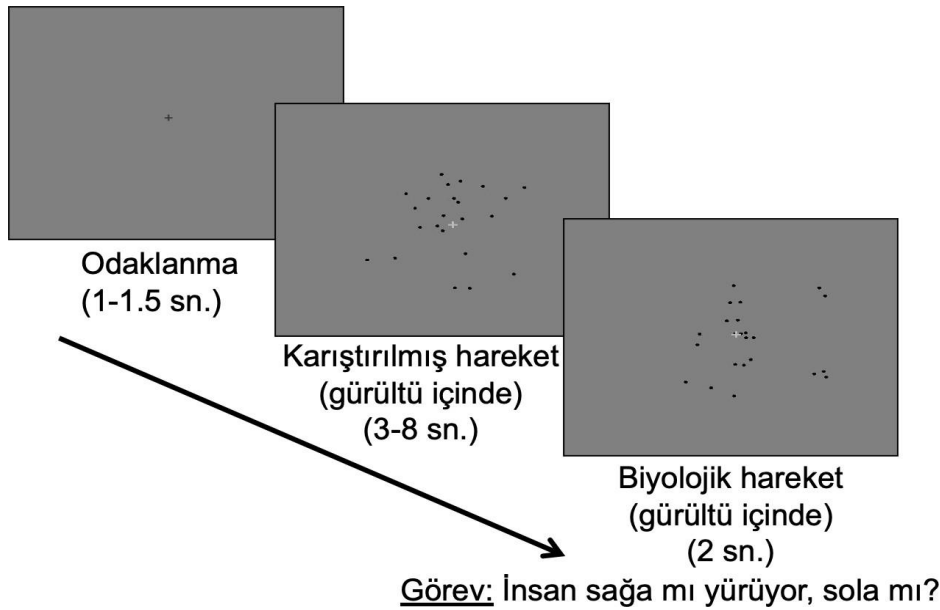
Çalışmanın davranışsal sonuçları, Kelly ve O'Connell (2013) ile uyumlu bir şekilde, gürültü seviyesi arttıkça tepki (cevap verme, RT) süresinin ve gözden kaçırma oranının (miss rate) arttığını göstermiştir. Olaya ilişkin potansiyellere (ERP) bakıldığında ise, önceki çalışmalara paralel bir şekilde uyarana kilitli CPP bileşeninin zirveye ulaşma hızının uyararı uyumluluğunu takip ettiği, fakat CPP bileşeninin, Kelly ve O'Connell (2013) çalışmasında kullandığı rasgele nokta uyararında olduğundan daha geç başladığı (~400 ms) görülmüştür. CPP bileşenindeki bu geç yükselmenin nedeninin, biyolojik hareket uyararınının daha karmaşık bir uyararı olması ve bu yüzden işlenmesinin daha çok zaman gerektirebileceği olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Kelly ve O'Connell'in (2013) çalışmasının sonuçlarından farklı

olarak CPP bileşenindeki etkinin parietal bölge üzerindeki elektrotlarla sınırlı kalmadığını ve temporal korteks üzerindeki elektrotlarda da uzamsal olarak kendini gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Cevaba kilitli olarak bakılan olaya ilişkin potansiyeller ise, Kelly ve O'Connell (2013)'de olduğu gibi karar sınırını temsil eden o noktasında birleşmişlerdir.



Şekil A4. Oğuz ve diğerleri (2024)'te kullanılan uyarılar

Not. A) Biyolojik hareket uyararı. (B) Biyolojik hareket uyararı için kontrol uyararı olarak kullanılan karıştırılmış hareket uyararı. (C) Uyumluluğu manipüle etmek için biyolojik hareket uyararına gürültü eklenmiş uyararı. (D) Uyumluluğu manipüle etmek için karıştırılmış hareket uyararına gürültü eklenmiş uyararı.



Şekil A5. Oğuz ve diğerleri (2024) deney paradigmasında bir denemenin zamansal akışı

## Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

Oğuz ve diğerlerinin (2024) nokta ışıklı biyolojik hareket uyararı kullanarak yaptığı çalışma, insan hareketlerini tanıma ve ilgili algısal karar verme süreçlerini anlamada çok önemli bir adım olsa da gelecek çalışmaların ekolojik geçerliliği daha yüksek, doğal ve daha karmaşık video uyararı kullanması sonuçların genellenebilirliği açısından önemlidir. Bu tarz uyararı kullanan Platonov ve Orban'ın (2017) çalışması, farklı eylemlerin karar verme süreçlerine dair önemli davranışsal sonuçlar sunsa da bu süreçlerin nörofizyolojik temelleri henüz bilinmemektedir. Dolayısıyla, gelecek çalışmaların doğal ve karmaşık eylem uyararı kullanarak nöral aktiviteyi ölçmesi beklenebilir.

İnsan eylemlerini tanımanın, karar verme süreçleri çerçevesinde çalışılması yalnızca algısal karar verme alanında etki yaratmayacak, aynı zamanda insan eylemlerini tanımanın altında yatan nörofizyolojik mekanizmaların aydınlatılması için de çok önemli kavramsal ve metodolojik katkılar sağlayacaktır. Bugüne kadar insan eylemleri üzerine yapılan çalışmalar, daha çok eylemi oluşturan temel bileşenlere (form ve hareket) odaklanmış ve uyarının yapısını ve nasıl işlendiğini çalışmıştır. Oysa görsel algı ve daha spesifik olarak insan eylemlerini tanıma, uyarının yapısal işlenmesiyle beraber uyarın hakkında karar verilmesini içeren süreçleri de içerir. Bu sebeple bu alanda yapılacak çalışmalar, insan eylemlerini tanımaya daha bütüncül bir çerçevede yaklaşacak ve insan eylemlerini tanımanın altında yatan nörofizyolojik süreçleri alanda farklı bir kavramsal çerçevede araştırabilecektir.

Öte yandan, insan eylemlerini tanımada problem yaşayan klinik popülasyonların varlığı bilinmektedir (Battelli ve diğerleri, 2003; Blake ve diğerleri, 2003; Kim ve diğerleri, 2005; Lange ve diğerleri, 2009; Saygin, 2007). Bu rahatsızlıkların teşhis ve tedavisine katkıda bulunmak için insan eylemlerini tanımanın altında yatan süreçlerin bütüncül olarak anlaşılması gerekmektedir. Bazı klinik çalışmalar, insan eylemlerinin tanınmasında uyarının yapısal bileşenlerine odaklanmış (örneğin form ya da hareket) ve bu bileşenlerin işlenmesindeki problemlere işaret etmiştir. Ancak, kimi durumlarda, problem uyarının yapısından ya da işlenmesinden çok karar verme mekanizmalarına bağlı olarak gelişebilir. Bu gibi durumları anlayabilmek için gelecek çalışmalarda, insanların eylemlerinin tanınmasını, algısal karar verme mekanizmaları çerçevesinde incelemek gerekmektedir.

İnsan eylemlerinin tanınmasındaki karar verme mekanizmalarını anlamının bir diğer katkısı da toplumsal sorunlara çözüm getirecek ve toplumun refahını artıracak yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesine olanak sağlamasıdır. Örneğin, trafikte yola çıkabilecek canlıların tespit edilmesi için arabalara entegre edilebilecek bilgisayarlı görü sistemlerinin geliştirilmesi çok önemlidir. Bu tür sistemler, sürücünün dikkatsiz olması durumunda bile, yola çıkabilecek bir canlıyı tespit ederek arabanın yavaşlamasını ya da durmasını sağlayacaktır.

Başka bir uygulama alanı, görme engelli bireyler için geliştirilebilecek bilgisayarlı görü sistemleridir. Örneğin, görme engelli bir bireyin mobilitesini artırmak amacıyla, vücuduna takabildiği bir sistem yardımıyla etrafındaki insan ya da hayvan hareketlerinin tespit edilebilmesi ve kendisine uyarı verilmesi mümkün olacaktır. Diğer önemli uygulama alanlarından biri de askeri güvenlik uygulamalarıdır. Tehlikeli bir sahada gezmekte olan bir askeri aracın tehlike unsuru olabilecek canlıları belirlemesi ve buna göre strateji belirlemesi çok önemlidir. Günümüzde, en başarılı bilgisayarlı görü sistemleri, insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenerek yapılmış derin öğrenme sistemleridir (Carreira ve Zisserman, 2017; Karpathy ve diğerleri, 2014; Tran ve diğerleri, 2015). Bu sistemler her ne kadar insan performansını henüz yakalayamamaları da insan algısı ve beyniyle ilgili keşfedeceğimiz yeni bilgiler, özellikle de karar verme mekanizmaları gibi üst bilişsel süreçler, bu sistemlere aktarılarak bahsi geçen sistemlerin iyileştirilmeleri sağlanabilecektir.

---

**Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı:**

Makale Burcu A. Ürgen tarafından tasarlanmıştır. Makalenin yazımında Burcu A. Ürgen ve Şeyda Evsen eşit katkıda bulunmuşlardır.

**Çıkar Çatışması Beyanı:**

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

**Finansal Destek Beyanı:**

Çalışma boyunca Burcu A. Ürgen yürütücü, Şeyda Evsen bursiyer olarak 27732 no'lu TÜSEB-B projesi tarafından desteklenmiştir.

**Etik Kurul Onayı:**

Çalışma Bilkent Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (Onay no: 2019\_01\_29\_01).

---

**Kaynakça**

- Abdollahi, R. O., Jastorff, J. ve Orban, G. A. (2013). Common and segregated processing of observed actions in human SPL. *Cerebral Cortex*, 23(11), 2734-2753. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs264>
- Bach, D. R., Pryce, C. R. ve Seifritz, E. (2011). The experimental manipulation of uncertainty. *Animal Models of Behavioral Analysis*, 193-216. [https://doi.org/10.1007/978-1-60761-883-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-60761-883-6_8)
- Battelli, L., Cavanagh, P. ve Thornton, I. M. (2003). Perception of biological motion in parietal patients. *Neuropsychologia*, 41(13), 1808-1816. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00182-9](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00182-9)
- Beintema, J. A., Georg, K. ve Lappe, M. (2006). Perception of biological motion from limited- lifetime stimuli. *Perception & Psychophysics*, 68(4), 613-624. <https://doi.org/10.3758/BF03208763>
- Blake, R. ve Shiffrar, M. (2007). Perception of human motion. *Annual Review of Psychology*, 58, 47. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.57.102904.190152>
- Blake, R., Turner, L. M., Smoski, M. J., Pozdol, S. L. ve Stone, W. L. (2003). Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *Psychological Science*, 14(2), 151-157. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.01434>
- Carreira, J. ve Zisserman, A. (2017). Quo vadis, action recognition? A new model and the kinetics dataset. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.502>
- Casile, A. ve Giese, M. A. (2005). Critical features for the recognition of biological motion. *Journal of Vision*, 5(4), 6-6. <https://doi.org/10.1167/5.4.6>
- Corbo, D. ve Orban, G. A. (2017). Observing others speak or sing activates Spt and neighboring parietal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(6), 1002-1021. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_01103](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01103)
- Ferri, S., Rizzolatti, G. ve Orban, G. A. (2015). The organization of the posterior parietal cortex devoted to upper limb actions: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 36(10), 3845-3866. <https://doi.org/10.1002/hbm.22882>
- Garcia, J. O. ve Grossman, E. D. (2008). Necessary but not sufficient: Motion perception is required for perceiving biological motion. *Vision Research*, 48(9), 1144-1149. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.01.027>
- Giese, M. A. ve Poggio, T. (2003). Neural mechanisms for the recognition of biological movements. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(3), 179-192. <https://doi.org/10.1038/nrn1057>
- Gold, J. I. ve Shadlen, M. N. (2007). The neural basis of decision making. *Annual Review of Neuroscience*, 30(1), 535-574. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.29.051605.113038>
- Grossman, E. D. ve Blake, R. (2002). Brain areas active during visual perception of biological motion. *Neuron*, 35(6), 1167-1175. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00897-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00897-8)
- Hanks, T. D. ve Summerfield, C. (2017). Perceptual decision making in rodents, monkeys, and humans. *Neuron*, 93(1), 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.12.003>

- Heekeren, H. R., Marrett, S. ve Ungerleider, L. G. (2008). The neural systems that mediate human perceptual decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(6), 467–479. <https://doi.org/10.1038/nrn2374>
- Johnson, K. ve Shiffrar, M. (2013). *People watching: Social, perceptual, and neurophysiological studies of body perception*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195393705.001.0001>
- Karpathy, A., Toderici, G., Shetty, S., Leung, T., Sukthankar, R. ve Fei-Fei, L. (2014). Large-scale video classification with Convolutional neural networks. *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2014.223>
- Kelly, S. P. ve O'Connell, R. G. (2013). Internal and external influences on the rate of sensory evidence accumulation in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 33(50), 19434–19441. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3355-13.2013>
- Kelly, S. P. ve O'Connell, R. G. (2015). The neural processes underlying perceptual decision making in humans: recent progress and future directions. *Journal of Physiology-Paris*, 109(1-3), 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2014.08.003>
- Kim, J., Doop, M. L., Blake, R. ve Park, S. (2005). Impaired visual recognition of biological motion in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 77(2-3), 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2005.04.006>
- Lange, J. ve Lappe, M. (2006). A model of biological motion perception from configural form cues. *Journal of Neuroscience*, 26(11), 2894-2906. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4915-05.2006>
- Lange, J., De Lussanet, M., Kuhlmann, S., Zimmermann, A., Lappe, M., Zwitserlood, P. ve Dobel, C. (2009). Impairments of biological motion perception in congenital prosopagnosia. *PLoS One*, 4(10), e7414. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007414>
- O'Connell, R. G., Shadlen, M. N., Wong-Lin, K. ve Kelly, S. P. (2018). Bridging neural and computational viewpoints on perceptual decision-making. *Trends in Neurosciences*, 41(11), 838- 852. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2018.06.005>
- Oğuz, O. C., Aydın, B., & Ürgen, B. A. (2024). Biological motion perception in the theoretical framework of perceptual decision-making: An event-related potential study. *Vision research*, 218, 108380. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2024.108380>
- Pavlova, M. A. (2012). Biological motion processing as a hallmark of social cognition. *Cerebral Cortex*, 22(5), 981-995. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr156>
- Platonov, A. ve Orban, G. A. (2016). Action observation: the less-explored part of higher-order vision. *Scientific Reports*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/srep36742>
- Platonov, A. ve Orban, G. A. (2017). Not all observed actions are perceived equally. *Scientific Reports*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17369-z>
- Ratcliff, R. ve McKoon, G. (2008). The diffusion decision model: Theory and data for two-choice decision tasks. *Neural Computation*, 20(4), 873-922. <https://doi.org/10.1162/neco.2008.12-06-420>

- Rutherford, M. D. ve Kuhlmeier, V. A. (2013). *Social perception: Detection and interpretation of animacy, agency, and intention*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262019279.001.0001>
- Salzman, C. D., Murasugi, C. M., Britten, K. H. ve Newsome, W. T. (1992). Microstimulation in visual area MT: effects on direction discrimination performance. *Journal of Neuroscience*, 12(6), 2331-2355. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.12-06-02331.1992>
- Saygin, A. P. (2007). Superior temporal and premotor brain areas necessary for biological motion perception. *Brain*, 130(9), 2452-2461. <https://doi.org/10.1093/brain/awm162>
- Smith, P. L. ve Ratcliff, R. (2004). Psychology and neurobiology of simple decisions. *Trends in Neurosciences*, 27(3), 161-168. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.01.006>
- Thirkettle, M., Benton, C. P. ve Scott-Samuel, N. E. (2009). Contributions of form, motion and task to biological motion perception. *Journal of Vision*, 9(3), 28-28. <https://doi.org/10.1167/9.3.28>
- Thompson, J. C. ve Baccus, W. (2012). Form and motion make independent contributions to the response to biological motion in occipitotemporal cortex. *Neuroimage*, 59(1), 625-634. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.07.051>
- Thurman, S. M. ve Grossman, E. D. (2008). Temporal “Bubbles” reveal key features for point- light biological motion perception. *Journal of Vision*, 8(3), 28-28. <https://doi.org/10.1167/8.3.28>
- Thurman, S. M., Giese, M. A. ve Grossman, E. D. (2010). Perceptual and computational analysis of critical features for biological motion. *Journal of Vision*, 10(12), 15-15. <https://doi.org/10.1167/10.12.15>
- Tran, D., Bourdev, L., Fergus, R., Torresani, L. ve Paluri, M. (2015). Learning spatiotemporal features with 3D Convolutional networks. *2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. <https://doi.org/10.1109/iccv.2015.510>
- Twomey, D. M., Murphy, P. R., Kelly, S. P. ve O'Connell, R. G. (2015). The classic P300 encodes a build-to-threshold decision variable. *European Journal of Neuroscience*, 42(1), 1636-1643. <https://doi.org/10.1111/ejn.12936>
- Ürgen, B. A. ve Orban, G. A. (2021). The unique role of parietal cortex in action observation: Functional organization for communicative and manipulative actions. *Neuroimage*, 237, 118220. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118220>

## **Visual Perception of Human Actions in the Perceptual Decision-making Framework**

### **Summary**

Neurophysiological studies in non-human primates characterize perceptual decision-making as a two-stage process: 1) accumulation of sensory evidence and 2) decision boundary leading to response selection. According to this model, during perceptual decision-making, the brain first collects sensory evidence about our environment and accumulates this information over time. As a result of this accumulation, it makes a decision. The point at which the sensory evidence accumulates and reaches the decision point is called the decision limit. Depending on the difficulty of the decision-making process, the accumulation of sensory evidence and reaching the decision limit may be delayed. One common paradigm used in neurophysiology studies is the random-dot paradigm in which a set of moving dots are presented on a screen and the animals are instructed to make a decision about which way the dots are moving. In this setup, the main manipulation is the coherence of moving dots where coherence is defined by the proportion of dots that are moving in the same direction. These studies demonstrated that firing rates of neurons in the lateral intraparietal area (LIP) increase and behavioral response times decrease as the coherence of motion stimuli increases. Building on this work, recent non-invasive EEG studies in humans have revealed an event-related potential, called the Centro-Parietal Positivity (CPP), which exhibits similar functional properties to LIP neurons and tracks the coherence levels of the motion stimuli. It has been shown that the parameters of the CPP component carry important information about the decisions made. Although these studies have been informative about the neural basis of the basic perceptual decision-making processes, their scope is limited to understanding the decision-making processes that underlie simple motion stimuli. A big gap in the literature is whether perceptual decision-making processes generalize to more complex and socially meaningful stimuli, such as human actions. This review article emphasizes the significance of investigating the neurophysiological basis of perceptual decision-making processes involved in the recognition of human actions. We start by providing a brief summary of studies conducted on human action perception. Next, we present a compilation of studies on perceptual decision-making conducted with simple and static stimuli that have guided and shaped these investigations. In doing so, we refer to studies that involve a range of stimuli including Gabor patches and faces, and a range of discrimination tasks in which perceptual decisions are made. We also talk about the formalization of these studies, in particular drift-diffusion modeling (DDM), to summarize the results of these studies. Next, we talk about some recent behavioral and EEG studies that are conducted on



visual perception of biological motion and actions in the framework of perceptual decision-making. In the conclusion section, we provide suggestions about the questions that could be addressed in future work. This includes investigating the visual perception of human actions using more naturalistic stimuli and setups and extending this line of work to clinical populations who are diagnosed with psychological or neurological disorders. In addition, we also talk about the implications of research in this field to the development of artificial intelligence technologies that will improve the well-being of humans such as self-driving cars or assistive technology for visually handicapped.