



Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi
Journal of Ankara Health Sciences
e-ISSN: 2618-5989



Karar Verme Süreciyle İlgili Beyin Yapıları: Derleme
Brain Structures Related to Decision Making Process: A Review

Güldane Dinç^{1*}, Derya Özer Kaya²

¹Trabzon Üniversitesi, Tonya Meslek Yükseokulu, Fizyoterapi Programı, Trabzon, Türkiye

²İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İzmir, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZ
<i>Geliş Tarihi:</i> 29.04.2021	İnsanlar hayatlarında belirledikleri amaçlarına ulaşmak için devamlı olarak seçim işlevi ile karşılaşır. Bu seçim işlevi bir karar verme durumudur. Karar verme, insan davranışının sonucunda ortaya çıkan ve tekrarlayan bir bilişsel süreçtir. Belirli kriterlere göre bir dizi süreçten sonra bir karar verilir. Sinir bilim yöntemleri, karar verme süreçleri sırasında beynimizde meydana gelen olaylar hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Sinir bilim çalışmalarında, beyin bölgelerinin işleyişi araştırılırken beyin görüntüleme araçları kullanılır. Beynimizin belirli bölgeleri ve bu bölgeler arasındaki bağlantılar, karar verme sürecinde görev almaktadır. Bu süreçler esnasında beynin birçok bölgesi (anterior cingulate korteks, medial prefrontal korteks, orbitofrontal korteks, dorsolateral prefrontal korteks vb.) birbiriyle iletişim halindedir. Karar verme sürecinde beyindeki bu yapıların nöronal ağ bağlantılarının sağlanmasında nörotransmitterler de görev alır. Serotonin, frontal korteksin ventromedial ve orbital alanlarıyla ilişkili karar verme işlevlerini düzenlemede aracı bir görev yapmaktadır. Bu derlemenin amacı, çeşitli durumlardaki karar verme sürecinde ilgili beyin yapılarının görevleri ve bu süreçte rol oynayan nörotransmitterler hakkında bilgi vermektir.
<i>Kabul Tarihi:</i> 27.06.2022	
	Keywords: Beyin, karar verme, nörotransmitter
Article Information	ABSTRACT
<i>Received:</i> 29.04.2022	People are constantly faced with the function of choice in order to achieve their goals in their lives. This selection function is a decision-making situation. Decision making is a cognitive process that occurs as a result of human behavior and is repetitive. A decision is made after a series of processes, based on certain criteria. Neuroscience methods enable us to obtain information about the events that occur in our brain during decision-making processes. In neuroscience studies, brain imaging tools are used to investigate the functioning of brain regions. Certain regions of our brain and the connections between these regions are involved in the decision-making process. During these processes, many regions of the brain (anterior cingulate cortex, medial prefrontal cortex, orbitofrontal cortex, dorsolateral prefrontal cortex, etc.) are in communication with each other. Neurotransmitters also play a role in providing the neuronal network connections of these structures in the brain during the decision-making process. Serotonin acts as an intermediary in regulating decision-making functions related to the ventromedial and orbital areas of the frontal cortex. The purpose of this review is to provide information about the functions of relevant brain structures in the decision-making process in various situations and the neurotransmitters involved in this process.
<i>Accepted:</i> 27.06.2022	
	Anahtar Kelimeler: Brain, decision making, neurotransmitter
doi: 10.46971/ausbid.930025	Derleme (Review)

*Sorumlu yazar/Corresponding author: Güldane Dinç, guldaneinceman@gmail.com

Giriş

Yemek ve sosyalleşmeyle ilgili günlük seçimlerden sağlık, kariyer, aile ve finans gibi alanlardaki önemli kararlara kadar, karar verme, yaşam boyu yaşamımızın yönünü ve kalitesini şekillendirir (Lighthall, 2020). Karar; birden fazla alternatif arasından birinin tercihidir (Kıral, 2015). Karar verme, tekrarlayan her süreçte karşılaşılabilen bilişsel bir süreçtir ve insan davranışının sonucunun bir parçasıdır. Belirli kriterlere göre, bir dizi süreçten sonra bir karar verilir (Ratcliff & Rouder, 1998).

İnsanların karar verme davranışı ve muhakemesi, bazıları bilinçli ve bilişsel olarak gerçekleşen; bazıları ise bilinçsiz ve temeli eski duyuşsal alanların aktivitelerine dayanan duyuşsal imgelere bağılı bilişsel işlemleri içeren değışik seviyelerdeki nöral bağılantılara dayanmaktadır (Bechara ve ark., 2000a; Bechara ve ark., 2000b). Karar verme davranışı, kararın sonucunun öngörülebildiğı durumlarda bir takım mantıksal analizler içerir. Sonucun tahmin edilemediğı durumlarda ise, kararın getireceğı yarar ve zararların değerlendirilme süreçlerini içerir (Lamar, 2000).

Karar verme davranışının içerdığı önemli bir bileşen, dışarıdan gelen uyarının yeni olması durumunda meydana gelen bilgi işlenmesi ve uyarının tanıdık olması durumunda daha alışılmış bir hareketin ortaya çıkmasıdır. Yeni bir uyarın ile karşılağıldığı zaman, pek çok bilişsel işlemin ortaya konması gerekir. Bu yeni uyarının ortaya çıkaracağı avantajlı ve dezavantajlı durumların analizi yapılır. Karar verme davranışından gelen bilgi, hedef durum ile ilişkilendirilir. Alınan karar sonucunda ortaya çıkacak risk ve ödüller değerlendirilir (Gazzaniga ve ark., 2002). Buna ek olarak bireyler, genelde geçmiş deneyimlerini karşılaştıırır ve bu deneyimlerini almış oldukları kararın gelecekteki sonuçları için bir temel olarak görürler. Bu bilgiler, üst seviyedeki görevlerden sorumlu alanlar ve bazı subkortikal çekirdeklerde depolanmaktadır (Bechara ve ark., 2000a; Bechara ve ark., 2000b).

Bilgi karar verme için gereklidir (Denis ve ark., 2009). Bilginin depolandığı bellek, karar verme süreciyle yakından ilişkilidir. Yeni bir karar verme davranışında, geçmiş deneyimlerimizin üzerine geleceğe yönelik istek, beklenti, tepki ve sonuçları ekleyebilmemiz bellek sayesinde olur. Tecrübemize dayanmayan kararlar vermek daha zor görevlerdir (Mızrak ve ark., 2021).

Karar verme davranışı ile önceki bilgilerin güçlendirilmesi ya da tekrar gözden geçirilmesi, prefrontal korteks ile talamus arasındaki nöronal bağılantılar aracılığı ile olmaktadır. Önceki karar verme davranışlarındaki düşüncelerle, yeni bir karar vermedeki bilgi ve düşüncelerin ilişkilendirilmesinde beynin bu bölgeleri görev almaktadır (Küçükay, 2018). Sonuçların belli olmadığı durumlarda da iyi kararlar alınabilir. İyi duyuşsal karar verme, bir iskambil destesinin parasal kazanç mı yoksa kayıp mı getireceğine karar vermek gibi riskli kararlar verme baskısı altındayken, duygularını başarılı bir şekilde düzenleyebilmeyi ifade eder (Premkumar ve ark., 2015). Olası sonuçların belli olmadığı durumlarda belirsiz kararlar, riskle ilgili en yüksek düzeyde belirsizliği taşır. Bu durumlarda, karar vericilerin sonuç olasılıkları hakkında çok az veya hiç somut bilgileri yoktur. Riskli kararlar, önceki deneyimlerden tahmin edilebilen sonuç olasılıklarını içerir (Kurnianingsih ve ark., 2015; Lighthall, 2020). Olasılıklar ve elde edilecek kazançlar, karar mekanizmalarını değiştirmektedir. Bu süreçler esnasında beynin birçok bölgesi (anterior singulat korteks, medial prefrontal korteks, orbitofrontal korteks, dorsolateral prefrontal korteks, nucleus accumbens ve substantia nigra vb.) birbiriyle iletişim halindedir. Bu beyin bölgeleri, düşünce ve karar verme esnasında aktifleşir (Naqvi ve ark., 2006; Qiu ve ark., 2018).

Karar verme sürecinin prefrontal korteks (çalışma belleği) ile hipokampus (uzun süreli bellek) arasındaki iletişimden kaynaklandığı iyi bilinmektedir (Tavares & Tort, 2022; Wang, 2008). Prefrontal korteks ve hipokampus, karar vermede insan beyninin en kritik kısımlarıdır (Tang ve ark., 2021).

Prefrontal korteks, karar vermede etkili olan önemli bölgelerden biri olmasına rağmen, bu süreçte periferik sinir sistemi, somatosensoryel sistem, amigdala gibi beyin bölgelerini içeren geniş çapta kortikal ve alt kortikal parçalarla iş birliği halindedir (Bechara, 2004).

Karar verme ile ilişkili beyin yapıları, nörolojik mekanizmaları ve karar vermenin doğasını, sinir bilim yöntemleri araştırmaktadır (Niwa & Ditterich, 2008; Romo ve ark., 2002; Wong & Wang, 2006). Sinir bilim çalışmalarında, beyin bölgelerinin işleyişi araştırılırken beyin görüntüleme araçları kullanılır. Bu çalışmalar, karar verme süreçleri sırasında beyinde meydana gelen olaylar hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Beynin belirli bölgeleri ve bu bölgeler arasındaki bağlantılar, karar verme sürecinde görev almaktadır (Küçükay, 2018). Bu doğrultuda bu derlemenin amacı, çeşitli durumlardaki karar verme sürecinde ilgili beyin yapılarının görevleri ve bu süreçte rol oynayan nörotransmitterler hakkında bilgi vermektir.

Karar Verme Süreci, İlgili Beyin Yapıları ve Nöronal Bağlantılar

Wang (2008), karar verme sürecinin dört adımda oluştuğunu belirtmektedir; ilk adımda, duyuşal girdilerin ürettiği ilk uyarılar, sinir sisteminin bir parçası olarak bir dizi hipokampal nöronu uyarır. İkinci aşamada, hipokampusa bir dizi ikincil uyarı gelir ve uyarı tarafından ortaya çıkan sinir cevabı, hipokampustaki iki giriş uyarı seti için ilk bilgi olarak üretilir. Üçüncü adımda, ilk bilgiler prefrontal kortekse gönderilir. Prefrontal korteks, gerekli ek bilgileri belirler ve hipokampusdan tamamlayıcı bilgileri alır. Son adımda, prefrontal korteks bu çalışmada önerilen kontrol sürecine karar verir. Bununla birlikte, nöronal bağlantı ile prefrontal korteks ve hipokampus arasında karşılıklı bir iletişim vardır. Bu nöronal bağlantı, tercih edilen bir karar oluşturmak için kapalı döngü sinir devreleri yapar (Wang, 2008). Karar verme, frontal ağların bütünlüğüne bağlı olan karmaşık bir insan davranışıdır.

Üç frontal devre, karar verme ile ilişkilendirilmiştir:

- 1) Ödül ve duyuşal temelli kararlara yönelik orbitofrontal korteks ve limbik yollar;
- 2) Birden fazla bilgi kaynağını entegre etmek için uzmanlaşmış dorsolateral prefrontal korteks;
- 3) Sonuçların işlenmesinin yanı sıra çelişen seçenekler arasında sıralama yapmada önemli olan anterior singulat korteks (Krawczyk, 2002).

Prefrontal korteks, serebral korteksin içinde, suplementer motor alan ve premotor korteks ile yan yanadır, ayrıca fonksiyonel ve anatomik olarak heterojendir. Karar verme sürecinde prefrontal korteks, birbirleriyle ve bazal gangliyon, talamus, beyincik gibi subkortikal yapılarla etkileşime giren orbitofrontal korteks, anterior singulat korteks, dorsolateral ve ventromedial prefrontal korteks dahil olmak üzere dört ana bölgeden oluşur (Rosenbloom ve ark., 2012).

Prefrontal korteks ve orbitofrontal korteks, amigdala ve limbik sistemin diğer alanları ile güçlü bağlantıları olan

frontostriatal devrenin parçalarıdır. Bu alanlar efektif ve efektif olmayan bilginin entegrasyonu için ve motive yanıtların düzenlenmesi için anatomik olarak uygun yapıdadırlar. Örneğin; öğle yemeği için lezzetli bir sandviç aramaya, bir arkadaşımızla vakit geçirmeye veya parkta bir arı yuvasından kaçınmaya karar verebiliriz. Bu tür kararları vermemizdeki kolaylık, orbitofrontal korteks bölgesine bağlıdır (Rudebeck & Rich, 2018). Fonksiyonel olarak bu alanlar beraber kabul edilmektedirler (Happaney ve ark., 2004). Prefrontal korteksin ayrıca, bu kortikal bölgelerin işlevini etkileyen striatal ve diğer subkortikal alanlarla da bağlantıları vardır (Burton ve ark., 2015; Rosenbloom ve ark., 2012).

Yapılan bir araştırma karar verme sürecinde, farklı alternatifler arasında karar verme durumlarında beynin dorsolateral ve ventromedial prefrontal korteks bölgelerinin görev aldığını göstermiştir (Rudorf & Hare, 2014). Ventromedial prefrontal korteks, düşünce süreçleri ve çeşitli alternatifler arasından seçim yapmada önemli rol oynar (Saraiva & Marshall, 2015). Karar vermenin sonucunda risk-ödül oranına göre daha riskli konularda kararlar alırken, ventromedial prefrontal korteks bölgesinin bilişsel ve duygusal bilginin entegrasyonunda amigdala bölgesi ile nöronal ağ bağlantıları yaptığı görülmektedir (Kenwood ve ark., 2022; van Holstein & Floresco, 2020).

Öğrenme ve davranışları kontrol etmede gerekli olan bilgilerin kullanılması ve ileriye dönük düşüncelerin oluşturulmasında beyindeki anterior singulat korteks bölgesi, aktif olarak rol oynamaktadır (Kennerley ve ark., 2006). Buna ek olarak, anterior singulat korteks, kişinin hatalarını ve doğru olmayan yanıtlarını kontrol ederek uygun davranışın kontrol edilmesinden ve seçilmesinden sorumludur (Van & Carter, 2002).

Karar verme davranışında prefrontal korteksin içinde yer alan orbitofrontal korteks ile beraber birkaç beyin yapısı önemlidir (Wallis, 2007). Orbitofrontal kortekste ana çıkışlar medial striatum, mediodorsal talamus ve prefrontal korteksin diğer bölümlerine bağlanır (Rudebeck & Rich, 2018). Prefrontal korteksin içinde yer alan orbitofrontal korteks, sosyal ve emosyonel bilginin uygun karar verme becerilerine dönüşmesi için bu bilginin işlenmesinden, değerlendirilmesinden ve ayıklanmasından sorumludur (Rolls ve ark., 2020). Emosyon ve ödül işlemlerindeki fonksiyonlarından dolayı, aynı zamanda limbik sistemin bir parçası olarak da kabul edilir. Uyarıcı pekiştirme bağlantılarının geliştirilmesinde yani, bir uyarıcı veya olayı, onu pekiştiren özellikler ile bağlantılandırma sürecinde sorumlu olduğu görülmüştür (Elliott ve ark., 2000).

Normal yetişkinler ile yapılan lezyon çalışmaları ve beyin görüntüleme çalışmaları, bu yapıların birbirleri ile bağlantılı bir şekilde çalışmalarının, başarılı karar verme davranışını ortaya çıkardığını göstermişlerdir (Fellow & Farah, 2005). Orbitofrontal korteks ve anterior singulat korteks, karar verme davranışı sırasında hatalı cevapları monitörize etmeyi ve uygun seçimleri yapmayı sağlamak için, diğer prefrontal alanlar özellikle dorsolateral prefrontal korteks ve posterior medial frontal korteks ile beraber hareket ederler (Lamar, 2000). Dorsolateral prefrontal korteks, orbitofrontal ve anterior singulat kortekse yaptığı nöral bağlantılar ile karar verme davranışında dolaylı bir şekilde yer alır (Mesulam, 2000). Dorsolateral prefrontal korteksin, karar verme davranışı sırasında işleyen bellek, planlama ve bilişsel esneklik için bilgileri seçtiğini gösterilmiştir (Cohen ve ark., 2005, Chan ve ark., 2008). Burada, dorsolateral prefrontal korteks tarafından yönlendirilen işleyen bellekte yer alan kazanç ve kayıpların analizi gerçekleşmektedir. Buna ek olarak, dorsolateral ve posterior medial frontal korteks, hedefe yönelik davranıştaki bilginin entegrasyonu ve devam eden hareketin monitorize edilmesinde de göreceli olarak yer alırlar. Bu alanlar, kendi aralarında ve beynin diğer alanları ile bir dizi kortiko-subkortikal ve kortiko-

kortikal bağlantılar ile bağlıdır (Hogan ve ark., 2006).

Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme ile, belirsiz durumlar sırasında orbitofrontal korteks ve amigdala aktivitesi arasında ilişki bulunmuştur. Buna dayanarak, bu iki yapının belirsizliğin derecesine göre yanıt veren bir dikkat/gelişim sistemi olduğu düşünülmüştür (Brand ve ark., 2006). Bazal ganglia-talamokortikal devreler ve frontoparietal ağlar; nöral bağlantılar ile karar verme davranışının farklı bileşenlerinde yer alırlar. Örneğin; orbitofrontal korteksi içeren, bazal ganglia-talamokortikal devreler orbitofrontal korteksi, talamus ve ventromedial çekirdek ile birbirine bağlar. Frontoparietal ağ, karar verme davranışı sırasında dikkatin, ilgili olmayan bilgidan, ilgili olan bilgiye yönlendirilmesini sağlar (Bolla ve ark., 2004).

Karar Verme Sürecinde Kilit Rol Oynayan Nörotransmitterler

Karar vermede sürecinde, beyindeki ilgili yapıların nöronal ağ bağlantılarının sağlanmasında nörotransmitterler görev alır. Özellikle nöromodülatörler olarak işlev gören serotonin ve dopamin, beyin yapılarındaki nöral aktiviteyi duyarlı bir şekilde etkiler ve uzun süredir karar verme ve pekiştirmeli öğrenmeyi içeren adaptif davranışlarla ilişkilendirilir (Cools ve ark., 2011; Crockett & Fehr, 2013).

Nörotransmitter dopamin, bu süreçte merkezi bir rol oynar. Dopamin, sinirsel işlemeyi modüle eden ve sinaptik bağlantıların esnekliğini yöneten en yoğun şekilde incelenen sinyaller arasındadır (Siju ve ark., 2020). Memeli beyinde, dopaminerjik nöronlar (DAN'lar) mezensefalon, diensefalon ve medulla oblongata dahil olmak üzere çeşitli beyin bölgelerinde kümeler halinde bulunur (Björklund & Dunnett, 2007). En önemli dopamin kaynakları, sırasıyla dorsal ve ventral striatuma projeksiyonlar gönderen muhtemelen substantia nigra ve ventral tegmental alandır (VTA). Hem bilişsel (örn. motivasyon, pekiştirme, hedefe yönelik davranış, motor kontrol ve hareket, karar verme ve öğrenme) hem de daha temel işlevlerde (örneğin; üreme ve mide bulantısı) yer alır (Rogers, 2011).

Dopaminin sinirsel devre işlevselliğinin ve davranışının çeşitli yönlerine nasıl katkıda bulunduğu cevabı net olmayan bir sorudur, ancak dopaminerjik nöronların beyine vücudun neye ihtiyacı olduğu ve duyuları hakkında bir sinyal göndermek için farklı aktivite kalıpları kullandığına inanılmaktadır (Björklund & Dunnett, 2007; Siju ve ark., 2020). Prefrontal kortekste dopaminin, bir görevle ilgili beyin devrelerinin aktivitesini artırarak ve bu görevden uzaklaşan devreleri bastırarak çalışan hafızada önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Roffman ve ark., 2016).

Dopaminin, mesolimbik, striatal ve kortikal yollar boyunca ileri afferentlerinin aktivitesi yoluyla karar verme üzerinde çok önemli bir rol oynar (Everitt & Robbins, 2005). Fareler üzerinden yapılan bir çalışmada, anterior singulat korteks içindeki D1 reseptör aktivitesi ile daha büyük ödüller elde etmek için daha fazla çaba harcamak gerektiği kararlarına aracılık ettiği gösterilmiştir (Hauber & Sommer, 2009; Schweimer & Hauber, 2006). Beyindeki dopaminerjik sistem, daha çok ödül sistemi olarak bilinir ve bu değerlendirmelerde önemli bir rol oynar (Björklund & Dunnett, 2007; Siju & Stih, 2020). Ek olarak; beklenmedik ödüllerin verilmesi orta beyin dopamin nöronlarının aktivitesinde fazik artışlara neden olurken, beklenen ödüllerin ihmal edilmesi aktivitelerinde depresyonlar üreterek pozitif ve negatif tahmin hatalarını somutlaştırmaktadır (Schultz 2004; Schultz, 2007).

Karar verme sürecinde rol oynayan bir diğer nörotransmitter ise serotoninidir. Karar verme davranışı sonucundaki ödül ve ceza durumlarının değerlendirilmesinde ve uygun davranışın seçilmesinde serotonin rol oynamaktadır. Serotonin, frontal korteksin ventromedial ve orbital alanlarıyla ilişkili karar verme işlevlerini düzenlemede aracı bir görev yapmaktadır (Rogers, 2011). Serotonin karar verme sürecinde birden fazla seçenektan en iyi kararın hangisi olabileceğine ilişkin süreçte daha belirgindir. Serotonin seviyesi azalmış kişilerin, seçenekler üzerinde düşünme sürelerinde artış ve karar verme hızlarında azalma meydana gelmiştir (Long ve ark., 2009; Rogers, 2011). Serotonin düzeyindeki azalma, karar vermede sürecinde rol oynayan kortikal alanların işleyişi üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. (Rogers, 2011). Serotonin düzeyindeki değişiklikler, bilişsel sisteme girecek ve işlenecek olan bilginin duygusal açıdan türünü (olumlu, olumsuz ya da nötr) etkilemektedir (Irak, 2012). Bu doğrultuda nörotransmitter serotoninin, sisteme giren uyaranların seçimi, uyaranın türüne karar verilmesi, uyaranların bazılarının dışlanması ve uyaranların gerektiğinde hatırlanmak üzere bellekte depolanması gibi birçok süreçte önemli bir rolü vardır (Irak, 2012).

Sonuç ve Öneriler

Karar verme, günlük hayatta her yerde mevcuttur. Karar verme davranışı, tercihlerin oluşturulmasına, eylemlerin seçilmesine, yürütülmesine ve sonuçların değerlendirilmesine bağlıdır. Son yıllarda, karar vermenin altında yatan davranışsal, bilişsel ve sinirsel süreçleri anlamada dikkate değer bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre; risk veya belirsizlik altında karar verme; orbitofrontal korteks, medialprefrontal korteks, ve anterior singulat korteks gibi beyin bölgeleri ile ilişkilendirilirken; ödüle dayalı karar verme; amigdala, bazal ganglionlar ve ventral prefrontal korteks gibi bölgeleri içeren limbik sistem ile ilişkilendirilmektedir. Nörogörüntüleme çalışmalarından ortaya çıkan bu kanıtlar, çoklu beyin bölgelerinin ağ alanlarının ve nörotransmitterlerin karar vermenin belirli yönleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Karar verme davranışını nörobiyolojik temellerini aydınlatmaya yönelik araştırmalar, karar vermenin doğasına ilişkin anlayışı ilerletmeyi sağlamakla birlikte, aynı zamanda psikiyatrik hastalıklarda ve nörolojik hastalıklarda karar vermeyi kolaylaştırmak için altta yatan nöral mekanizmaları hedefleyen klinik araştırmaları da kolaylaştıracaktır. Bu çalışma, çoklu beyin bölgelerinin karar verme davranışındaki karmaşık rolünü anlamak için bir kaynak sağlamaktadır. Özellikle karar verme davranışında kilit rol oynayan bölgeler üzerine, daha fazla çalışma yapılmasına katkı sağlayabilir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

- Bechara, A. (2004). The role of emotion in decision-making: Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and Cognition*, 55(1), 30-40. <https://doi: 10.1016/j.bandc.2003.04.001>
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000a). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10(3), 295-307. <https://doi: 10.1093/cercor/10.3.295>
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000b). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123(11), 2189-2202. <https://doi: 10.1093/brain/123.11.2189>
- Bolla, K. I., Eldreth, D. A., Matochik, J. A., & Cadet, J. L. (2004). Sex-related differences in a gambling task and its neurological correlates. *Cerebral Cortex*, 14(11), 1226-1232. <https://doi: 10.1093/cercor/bhh083>
- Björklund, A., & Dunnett, S. B. (2007). Dopamine neuron systems in the brain: an update. *Trends in Neurosciences*, 30(5), 194-202. <https://doi: 10.1016/j.tins.2007.03.006>
- Brand, M., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks*, 19(8), 1266-1276. <https://doi: 10.1016/j.neunet.2006.03.001>
- Burton, A. C., Nakamura, K., & Roesch, M. R. (2015). From ventral-medial to dorsal-lateral striatum: neural correlates of reward guided decision-making. *Neurobiology of Learning and Memory*, 117, 51-59. <https://doi: 10.1016/j.nlm.2014.05.003>
- Chan, R. C., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 201-216. <https://doi: 10.1016/j.acn.2007.08.010>
- Cohen, M. X., Heller, A. S., & Ranganath, C. (2005). Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-making. *Cognitive Brain Research*, 23(1), 61-70. <https://doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.01.010>
- Cools, R., Nakamura, K., & Daw, N. D. (2011). Serotonin and dopamine: Unifying affective, activational, and decision functions. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 98-113. <https://doi: 10.1038/npp.2010.121>
- Crockett, M. J., & Fehr, E. (2014). Pharmacology of economic and social decision making. In P.W. Glimcher, E. Fehr (Eds.), *Neuroeconomics* (pp. 259-279). Academic Press.
- Pomeroy, J. C. (2009). Human decision: Recognition plus reasoning. In B.Denis, D. Didier, P. Marc , P. Henri (Eds.), *Decision making process: Concepts and methods* (pp. 157-197).Wiley.
- Elliott, R., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2000). Dissociable functions in the medial and lateral orbitofrontal cortex: Evidence from human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 10(3), 308-317. <https://doi: 10.1093/cercor/10.3.308>
- Everitt, B. J., & Robbins, T. W. (2005). Neural systems of reinforcement for drug addiction: From actions to habits to compulsion. *Nature Neuroscience*, 8(11), 1481-1489. <https://doi: 10.1038/nn1579>
- Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2005). Different underlying impairments in decision-making following ventromedial and dorsolateral frontal lobe damage in humans. *Cerebral Cortex*, 15(1), 58-63. <https://doi: 10.1093/cercor/bhh108>
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., Mangun, G. R. (2002). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (4 th ed., pp. 513-530),

New York: W.W. Norton and Company.

- Happaney, K., Zelazo, P. D., & Stuss, D. T. (2004). Development of orbitofrontal function: Current themes and future directions. *Brain and Cognition*, 55(1), 1-10. <https://doi: 10.1016/j.bandc.2004.01.001>
- Hauber, W., & Sommer, S. (2009). Prefrontostriatal circuitry regulates effort-related decision making. *Cerebral Cortex*, 19(10), 2240-2247. <https://doi: 10.1093/cercor/bhn241>
- Hogan, A. M., Vargha-Khadem, F., Saunders, D. E., Kirkham, F. J., & Baldeweg, T. (2006). Impact of frontal white matter lesions on performance monitoring: ERP evidence for cortical disconnection. *Brain*, 129(8), 2177-2188. <https://doi: 10.1093/brain/awl160>
- Irak, M. (2012). Serotonin'in bilişsel işlevlerdeki rolü. *Türk Psikoloji Yazıları*, 15(29), 13-22.
- Kennerley, S. W., Walton, M. E., Behrens, T. E., Buckley, M. J., & Rushworth, M. F. (2006). Optimal decision making and the anterior cingulate cortex. *Nature Neuroscience*, 9(7), 940-947. <https://doi: 10.1038/nn1724>
- Kenwood, M. M., Kalin, N. H., & Barbas, H. (2022). The prefrontal cortex, pathological anxiety, and anxiety disorders. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 260-275. <https://doi: 10.1038/s41386-021-01109-z>
- Kıral, E. (2015). Yönetimde karar ve etik karar verme sorunsalı. *Adnan Menderes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 6(2), 73-89.
- Krawczyk, D. C. (2002). Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision making. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(6), 631-664. [https://doi: 10.1016/s0149-7634\(02\)00021-0](https://doi: 10.1016/s0149-7634(02)00021-0)
- Kurnianingsih, Y. A., Sim, S. K., Chee, M. W., & Mullette-Gillman, O. (2015). Aging and loss decision making: Increased risk aversion and decreased use of maximizing information, with correlated rationality and value maximization. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-12. <https://doi: 10.3389/fnhum.2015.00280>
- Küçükay, A. (2018). Karar vermenin psikolojisi. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi*, 35, 607-640.
- Lamar M. (2000, June). Neuroscience and decision making. In Presentation at "improving the decision-taking process in Institutions" workshop, London School of Economics.
- Lighthall, N. R. (2020). Neural mechanisms of decision-making in aging. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 11(1), e1519. <https://doi: 10.1002/wes.1519>
- Long, A. B., Kuhn, C. M., & Platt, M. L. (2009). Serotonin shapes risky decision making in monkeys. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 4(4), 346-356. <https://doi: 10.1093/scan/nsp020>
- Mesulam, M. M. (2000). Behavioral neuroanatomy: Large-Scale networks, association cortex, frontal syndromes, the limbic system, and hemispheric specializations. In M.M. Mesulam (Ed.), Principles of behavioral and cognitive neurology (pp. 32-71.). Oxford University Press.
- Mızrak, E., Bouffard, N. R., Libby, L. A., Boorman, E. D., & Ranganath, C. (2021). The hippocampus and orbitofrontal cortex jointly represent task structure during memory-guided decision making. *Cell Reports*, 37(9), 110065. <https://doi: 10.1016/j.celrep.2021.110065>
- Naqvi, N., Shiv, B., & Bechara, A. (2006). The role of emotion in decision making: A cognitive neuroscience perspective.

- Niwa, M., & Ditterich, J. (2008). Perceptual decisions between multiple directions of visual motion. *Journal of Neuroscience*, 28(17), 4435-4445. [https://doi: 10.1523/JNEUROSCI.5564-07.2008](https://doi:10.1523/JNEUROSCI.5564-07.2008)
- Premkumar, P., Fannon, D., Sapara, A., Peters, E. R., Anilkumar, A. P., Simmons, A., Kuipers, E., & Kumari, V. (2015). Orbitofrontal cortex, emotional decision-making and response to cognitive behavioural therapy for psychosis. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 231(3), 298-307. [https://doi: 10.1016/j.psychresns.2015.01.013](https://doi:10.1016/j.psychresns.2015.01.013)
- Ratcliff, R., & Rouder, J. N. (1998). Modeling response times for two-choice decisions. *Psychological Science*, 9(5), 347-356. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00067>
- Rogers, R. D. (2011). The roles of dopamine and serotonin in decision making: Evidence from pharmacological experiments in humans. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 114-132. [https://doi: 10.1038/npp.2010.165](https://doi:10.1038/npp.2010.165)
- Roffman, J. L., Tanner, A. S., Eryilmaz, H., Rodriguez-Thompson, A., Silverstein, N. J., Ho, N. F., Nitenson, A.Z., Chonde, D.B., Greve, D.N., Abi-Dargham, A., Buckner, R.L., Manoach, D.S., Rosen, B.R., Hooker, J.M., Catana, C. (2016). Dopamine D1 signaling organizes network dynamics underlying working memory. *Science Advances*, 2(6), e1501672. [https://doi: 10.1126/sciadv.1501672](https://doi:10.1126/sciadv.1501672)
- Rolls, E. T., Cheng, W., & Feng, J. (2020). The orbitofrontal cortex: Reward, emotion and depression. *Brain Communications*, 2(2), fcaa196. [https://doi: 10.1093/braincomms/fcaa196](https://doi:10.1093/braincomms/fcaa196)
- Romo, R., Hernández, A., Zainos, A., Lemus, L., & Brody, C. D. (2002). Neuronal correlates of decision-making in secondary somatosensory cortex. *Nature Neuroscience*, 5(11), 1217-1225. [https://doi: 10.1038/nn950](https://doi:10.1038/nn950)
- Rosenbloom, M. H., Schmahmann, J. D., & Price, B. H. (2012). The functional neuroanatomy of decision-making. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 24(3), 266-277. [https://doi: 10.1176/appi.neuropsych.11060139](https://doi:10.1176/appi.neuropsych.11060139)
- Rudebeck, P. H., & Rich, E. L. (2018). Orbitofrontal cortex. *Current Biology*, 28(18), 1083-1088. [https://doi: 10.1016/j.cub.2018.07.018](https://doi:10.1016/j.cub.2018.07.018)
- Rudolf, S., & Hare, T. A. (2014). Interactions between dorsolateral and ventromedial prefrontal cortex underlie context-dependent stimulus valuation in goal-directed choice. *Journal of Neuroscience*, 34(48), 15988-15996. [https://doi: 10.1523/JNEUROSCI.3192-14.2014](https://doi:10.1523/JNEUROSCI.3192-14.2014)
- Siju, K. P., Štih, V., Aimon, S., Gjorgjieva, J., Portugues, R., & Kadow, I. C. G. (2020). Valence and state-dependent population coding in dopaminergic neurons in the fly mushroom body. *Current Biology*, 30(11), 2104-2115. [https://doi: 10.1016/j.cub.2020.04.037](https://doi:10.1016/j.cub.2020.04.037)
- Saraiva, A. C., & Marshall, L. (2015). Dorsolateral–ventromedial prefrontal cortex interactions during value-guided choice: A function of context or difficulty? *Journal of Neuroscience*, 35(13), 5087-5088. [https://doi: 10.1523/JNEUROSCI.0271-15.2015](https://doi:10.1523/JNEUROSCI.0271-15.2015)
- Schultz, W. (2004). Neural coding of basic reward terms of animal learning theory, game theory, microeconomics and behavioural ecology. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(2), 139-147. [https://doi: 10.1016/j.conb.2004.03.017](https://doi:10.1016/j.conb.2004.03.017)
- Schultz, W. (2007). Behavioral dopamine signals. *Trends in Neurosciences*, 30(5), 203-210. [https://doi: 10.1016/j.tins.2007.03.007](https://doi:10.1016/j.tins.2007.03.007)

- Schweimer, J., & Hauber, W. (2006). Dopamine D1 receptors in the anterior cingulate cortex regulate effort-based decision making. *Learning & Memory*, *13*(6), 777-782. <https://doi:10.1101/lm.409306>
- Tavares, L. C., & Tort, A. B. (2022). Hippocampal–prefrontal interactions during spatial decision-making. *Hippocampus*, *32*(1), 38-54. <https://doi:10.1002/hipo.23394>
- Tang, W., Shin, J. D., & Jadhav, S. P. (2021). Multiple time-scales of decision-making in the hippocampus and prefrontal cortex. *Elife*, *10*, e66227. <https://doi:10.7554/eLife.66227>
- Van Veen, V., & Carter, C. S. (2002). The anterior cingulate as a conflict monitor: fMRI and ERP studies. *Physiology & Behavior*, *77*(4-5), 477-482. [https://doi:10.1016/s0031-9384\(02\)00930-7](https://doi:10.1016/s0031-9384(02)00930-7)
- van Holstein, M., & Floresco, S. B. (2020). Dissociable roles for the ventral and dorsal medial prefrontal cortex in cue-guided risk/reward decision making. *Neuropsychopharmacology*, *45*(4), 683-693. <https://doi:10.1038/s41386-019-0557-7>
- Wallis, J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annual Review Neuroscience*, *30*, 31-56. <https://doi:10.1146/annurev.neuro.30.051606.094334>
- Wang, X. J. (2008). Decision making in recurrent neuronal circuits. *Neuron*, *60*(2), 215-234. <https://doi:10.1016/j.neuron.2008.09.034>
- Wong, K. F., & Wang, X. J. (2006). A recurrent network mechanism of time integration in perceptual decisions. *Journal of Neuroscience*, *26*(4), 1314-1328. <https://doi:10.1523/JNEUROSCI.3733-05.2006>
- Qiu, L., Su, J., Ni, Y., Bai, Y., Zhang, X., Li, X., & Wan, X. (2018). The neural system of metacognition accompanying decision-making in the prefrontal cortex. *PLoS Biology*, *16*(4), e2004037. <https://doi:10.1371/journal.pbio.2004037>