

**Satın Alma Davranışının Beyin Ön Bölgesindeki  
İzduşümlerinin fNIRS Yöntemiyle İncelenmesi**

**Program Kodu: 1002**

**Proje No: 113E311**

Proje Yürütücüsü:  
**Yrd. Doç. Dr. Murat Perit ÇAKIR**

Danışman:

Dr. Yener GİRİŞKEN

Bursiyer Araştırmacılar:

Deniz ZENGİN

Burcu VERİM

Tuna ÇAKAR

Araştırmacı:

Onur AŞÇI

EKİM 2014  
ANKARA

## ÖNSÖZ

Bu akademik araştırma projesi satın alma davranışlarının beynin ön bölgesindeki izdüşümlerinin optik nörogörüntüleme (fNIR) yöntemi kullanılarak tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmayla hem yeni akademik çalışmaların önünün açılması hem de sektöre yönelik uygulamaların geliştirilebilmesi için bir zemin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 1002 Hızlı Destek kapsamında değerlendirilmiş ve desteklenmiştir. (Proje no: 113E311)

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vi
1. GİRİŞ.....	10
2. GENEL BİLGİLER.....	11
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	16
3.1. Kızılötesi Işık ile Optik Beyin Görüntüleme Yöntemi.....	16
3.2. fNIR Sistemi.....	20
3.3. fNIR Sinyal İşleme İşlemleri.....	21
3.4. Deney Deseni.....	22
4. BULGULAR .....	24
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	37
6. KAYNAKLAR.....	42
Ek 1. Ürün Kullanım Sıklığı Anketi.....	47
Ek 2. Ürün Listesi.....	48
Ek 3. Ürün Görselleri.....	49

## TABLO ve ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1. fNIRS Imager 1000 kontrol kutusu (solda) ve dört LED kızıl-ötesi ışık kaynağı ve 10 algılayıcıya sahip olan fNIRS sensörü.....16
- Şekil 2. Optik beyin görüntüleme için kullanılan 700 ile 900nm dalgaboyu aralığında, ışık emilimi en yüksek olan kromofor hemoglobin molekülüdür.....17
- Şekil 3. fNIR algılayıcısının altına yerleştirilmiş hali (sol üst resim) ve beyin yüzey imgesi-nde yaklaşık ölçüm merkezleri (sağ üst resim). fNIR algılayıcısı, 4 adet ışık kaynağı ve 10 adet foto detektör ile 16 beyin bölgesini ölçebilmektedir (en alttaki resim) .....20
- Şekil 4. Sol hemisferdeki Brodmann bölgeleri.....21
- Şekil 5. Deneylerde kullanılan uyaranların blok içerisindeki gösterim süreleri (üçüncü deneyde ürün gösterim süresi 1 saniye, dinlenme süresi ise 2 saniye uzatılmıştır).....23
- Şekil 6. Birinci deneyde katılımcıların para harcaması yapmadan satın alma (pembe) ve satın almama (mavi) kararı verdikleri durumlarda 16 ölçüm noktasında gözlenen ortalama oksijenlenme miktarı ( $\mu\text{molar/litre}$ ). Dördüncü ve altıncı kanallar sinyallerdeki gürültü dolayısıyla değerlendirme dışında bırakılmıştır. Barların üzerindeki çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.....25
- Şekil 7. İkinci deneyde katılımcıların para harcaması yaparak satın alma (pembe) ve satın almama (mavi) kararı verdikleri durumlarda 16 ölçüm noktasında gözlenen ortalama oksijenlenme miktarı ( $\mu\text{molar/litre}$ ). Barların üzerindeki çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.....26
- Şekil 8. İkinci deneyde gerçek satın alma yapılmayan (sol) ve yapılan (sağ) durumlarda sağ frontopolar bölgede (voxel 9) oksijenlenme miktarında gözlenen zamana bağlı ortalama değişim. Çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.....27
- Şekil 9. Üçüncü deneyde katılımcıların para harcaması yaparak satın alma (pembe) ve satın almama (mavi) kararı verdikleri durumlarda 16 ölçüm noktasında gözlenen ortalama oksijenlenme miktarı ( $\mu\text{molar/litre}$ ). Barların üzerindeki çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.....28
- Şekil 10. 32 katılımcının satın alma kararı verdiği 12 saniyelik bölümde prefrontal korteksde yer alan 16 ölçüm noktasındaki oksijenlenme miktarında gerçekleşen ortalama değişim. Açık mavi ve açık turuncu olarak gösterilen bölgeler standart hata miktarlarını göstermektedir...29

Şekil 11. Satın alma performansı bakımından toplam $40\pm 20$ TL tutarında alış veriş yapan 11 katılımcının satın alma kararı verdiği 12 saniyelik bölümde prefrontal korteksde gözlenen oksijenlenme miktarındaki ortalama değişim. Açık mavi ve açık turuncu olarak gösterilen bölgeler standart hata miktarlarını göstermektedir.....	32
Şekil 12. Satın alma performansı bakımından toplam bütçeyi gözetmeyen 21 katılımcının satın alma kararı verdiği 12 saniyelik bölümde prefrontal korteksde gözlenen oksijenleş-me miktarındaki ortalama değişim. Açık mavi ve açık turuncu olarak gösterilen bölgeler standart hata miktarlarını göstermektedir.....	33
Şekil 13. Bütçe kısıtını gözetten grupta satın alma (sol) ve satın almama (sağ) durumlarında fiyat bilgisi verildikten sonra gözlenen ortalama oksijenlenmenin prefrontal korteks üzerindeki dağılımı.....	34
Şekil 14. Bütçe kısıtını gözetmeyen grupta satın alma (sol) ve satın almama (sağ) durumlarında fiyat bilgisi verildikten sonra gözlenen ortalama oksijenlenmenin prefrontal korteks üzerindeki dağılımı.....	35
Tablo 1. Diskriminant analizi sonucunda elde edilen katsayılar ve tahmin oranlar.....	36

## ÖZET

Son dönemde nörobilim yöntemlerinde yaşanan gelişmeler satın alma kararı verme süreçleri konusunda yeni araştırma sorularını ortaya çıkarmıştır. Klasik teorilerde satın alma davranışının ağırlıklı olarak tercih ve fiyat gibi davranışsal değişkenlerle analiz edilmesine karşılık nöroiktisat araştırmaları bu süreçlerin altında yatan nörofizyolojik etkileri araştırarak mevcut modellere katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu alanda ağırlıklı olarak fMRI yöntemiyle yürütülen çalışmalarda katılımcıların satın alıp-almama kararı verdikleri durumlarda ventro-medial prefrontal korteks (vmPFC), orbito-frontal/fronto-polar korteks, dorso-medial prefrontal korteks (dmPFC), dorsolateral prefrontal korteks (dlPFC), nucleus accumbens, ventral tegmental alan ve ventral striatum gibi bölgeleri içeren geniş nöral sistemlerin karar verme sürecinde rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bölgeler arasında yapılan işlevsel ve yapısal bağlantı çalışmaları sayesinde satın alma davranışının nörofizyolojik verilere dayanarak daha objektif bir şekilde modellenmesinin yolu açılmıştır.

Mevcut çalışmalar ağırlıklı olarak, uzamsal çözünürlük bakımından sunduğu önemli avantajlara karşın, pahalı ve pratik uygulama yapma konusunda önemli kısıtları olan fMRI gibi yöntemlere dayanmaktadır. Projede yürütülen çalışma kapsamında, satın alma kararı verilirken prefrontal korteks bölgesinde gerçekleşen beyin hareketleri optik temelli, invazif olmayan, nispeten düşük maliyetli ve portatif bir beyin görüntüleme yöntemi olan işlevsel kızıl-ötesi tayfölçümü (fNIRS) yöntemiyle izlenmiştir. Bu amaçla, katılımcılardan kontrollü bir deney ortamında bir dizi satın alma kararı vermeleri istenmiş ve bu esnada fNIRS yöntemiyle sinirsel aktiviteye bağlı olarak prefrontal korteks bölgesinde oksi- ve deoksi-hemoglobin miktarlarında gerçekleşen değişim izlenmiştir. Yapılan üç deneysel çalışma sonucunda fNIRS yönteminin nöroiktisat çalışmaları için sunduğu potansiyelin değerlendirilmesi ve prefrontal korteksdeki oksijenlenme miktarında gözlenen değişimlere bağlı olarak satın alma kararlarını nörofizyolojik bilgiler üzerinden yordayan bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada fNIRS yöntemiyle elde edilen bulguların fMRI gibi benzer fizyolojik temele dayanan nörogörüntüleme yöntemleriyle elde edilen bulgulara benzer olduğu gözlenmiştir. Satın alma kararları sırasında beklendiği üzere OFC'ye yakın frontopolar bölgede, dmPFC ve dlPFC bölgelerindeki oksijenlenme trendlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Ancak bu beyin bölgelerinde gözlenen oksijenlenme trendinin yönünü ağırlıklı olarak katılımcıların genel satın alma tutumlarının belirlediği gözlenmiştir. Örneğin, ilk iki deney setinde elde edilen bulgular kıyaslandığında, satın alma ve almama kararları arasında PFC bölgelerinde anlamlı bir farklılık oluşması için gerçek bir satın alma senaryosunun

oluşturulmasının gerektiği gözlenmiştir. Üçüncü deney ağırlıklı olarak ikinci deneyde gözlenen trendlerin tekrar gözlenip gözlenmeyeceğini test etmek amacıyla yürütölmüştür. Üçüncü deneyde ikinci deneyden farklı olarak, katılımcıların genel harcama tutumları bakımından bütçe kısıtını gözetemeyen ve gözetmeyen katılımcılar olarak ikiye ayrıldığı gözlenmiştir. Satın alma kararlarıyla ilgili bölgeler her iki grupta da frontopolar ve dmPFC bölgeleri olmakla beraber, etkinin yönü itibariyle iki grup arasında temel bir farklılık olduğu gözlenmiştir. Bu etkenleri göz önünde bulundurarak fNIRS verileri üzerinden satın alma/almama kararlarını tahmin etmeye çalışan bir diskriminant analiz modeliyle %80 düzeyinde tahmin başarısı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nöroiktisat, satın alma davranışı, karar verme süreçleri, optik nörogörüntüleme, fNIRS

## ABSTRACT

Purchasing behavior is traditionally analyzed in relation to behavioral variables such as preference and price. The recently emerging neuro-marketing research program aims to improve upon existing models by investigating the neurophysiological processes underlying purchasing-related decision making processes. Several fMRI studies conducted in this field have identified a vast distributed network of neural regions responding to purchasing decisions, including the ventro-medial prefrontal cortex (vmPFC), orbito-frontal/fronto-polar cortex, dorso-medial prefrontal cortex (dmPFC), dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC), nucleus accumbens, ventral tegmental area and ventral striatum. The recent functional and structural connectivity analysis of activation patterns across these regions during various purchasing decision tasks have opened the possibility of building neurophysiologically informed, objective models of purchasing decisions.

Existing studies in the field predominantly employ the fMRI method. Despite its superior spatial resolution, fMRI is an expensive and impractical neuroimaging technology for purchasing behavior studies in the field. In this project, the functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) method was employed to study purchasing behavior, which offers a low-cost, non-invasive and portable optical brain imaging methodology. In a controlled experimental setup, participants were asked to make a series of purchasing decisions while the changes in the relative concentrations of oxy- and de-oxygenated hemoglobin in their prefrontal cortices are monitored with an fNIRS sensor. The aim to the three experiments conducted in this study was to explore the plausibility of the fNIRS methods for neuroeconomics applications, as well as to develop a neuro-physiologically informed predictive model of purchasing behavior based on fNIRS measurements.

The results suggest that fNIRS can detect similar neural activation patterns in the prefrontal cortex as reported by related studies using fMRI, which relies on similar physiological principles for monitoring neural activity. In particular, while subjects were making purchasing decisions we observed statistically significant changes in the neural activity recorded at optodes near to the frontopolar region, dmPFC and dlPFC. However, the results suggest that the magnitude and the direction of the trend in neural activity depends on the overall purchasing attitude of the participant. For instance, when the results of the first two experiments are compared, a significant neural activity in the PFC can only be detected in a scenario where participants actually spend money on the items. In addition to this, during the third experiment that aimed to replicate the results obtained in the second experiment, we



observed that participants were split into two groups in terms of whether they could spend within the budget or not. In both of these groups, we observed that positive and negative purchasing decisions elicited higher activity in the frontopolar and dmPFC areas, albeit in different directions. Given these observations, a discriminant analysis model that accommodates these groupings could predict the direction of the purchasing decisions with 80% accuracy by using fNIRS readings as input.

**Keywords:** Neuroeconomics, purchasing behavior, decision making process, optical brain imaging, fNIRS.

## 1. GİRİŞ

Son dönemde nörobilim yöntemlerinde yaşanan gelişmeler satın alma kararı verme süreçleri konusunda yeni araştırma sorularını ortaya çıkarmıştır. Klasik iktisat teorileri satın alma kararlarını tercih, fiyat, karar verme süresi gibi parametrelerine bağlı olarak ele almakta, bu parametrelerin değişken bir bağlam içerisinde şekillenmesinde rol oynayan nörobiyolojik etkenlere odaklanmamaktadır (Schwartz, 2004). Nöroiktisat alanı nörogörüntüleme yöntemleri kullanarak karar verme süreçlerini şekillendiren nörobiyolojik etkenlerin daha iyi anlaşılmasını amaçlamaktadır.

Bu çerçevede geliştirilen deneysel tasarımlar ve yapılan çalışmalar işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), elektroensefalografi/ magnetoensefalografi (EEG/MEG) ve pozitron emisyon tomografi (PET) gibi nörogörüntüleme yöntemleri kullanarak insanların satın alma kararları verdiği sırada beyinlerinde gerçekleşen sinirsel hareketlere odaklanmıştır. Beyin hareketlerinin hassas bir biçimde ölçülmesini sağlayan bu teknolojiler sayesinde satın alma kararlarının sinirsel izdüşümleriyle ilgili önemli bulgulara ulaşılmıştır. Genel bilgiler kısmında özetlenen ana bulgular, satın alma kararlarını idame ettiren süreçlerin ventro-medial prefrontal korteks, dorso-medial prefrontal korteks, dorsolateral prefrontal korteks, intra parietal lobule gibi bölgeleri içeren geniş bir nöral ağın etkileşimleriyle idame ettirildiğini göstermektedir. Ancak katılımcıların hareketsiz kalmak durumunda olduğu ortamlarda yapılan ve pahalı ekipmanlar gerektiren bu yöntemler ile pratik saha uygulamalarının geliştirilmesi mümkün görünmemektedir.

Projede yürütülen çalışma kapsamında, satın alma kararı verilirken prefrontal korteks bölgesinde gerçekleşen beyin hareketleri optik temelli, invazif olmayan, nispeten düşük maliyetli ve portatif bir beyin görüntüleme yöntemi olan işlevsel kızıl-ötesi spektroskopisi (functional near-infrared spectroscopy – fNIRS) yöntemiyle izlenmiştir. Bu amaçla, katılımcılardan kontrollü bir deney ortamında bir dizi satın alma kararı vermeleri istenmiş ve bu esnada fNIRS yöntemiyle sinirsel aktiviteye bağlı olarak prefrontal korteks bölgesinde oksijen ve deoksi-hemoglobin miktarlarında gerçekleşen değişim izlenmiştir. Bu çalışmanın bir benzeri daha önce Knutson ve arkadaşları (2007) tarafından fMRI metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada daha portatif ve maliyet olarak uygun bir nörogörüntüleme yöntemi olan fNIRS ile benzer bir deney gerçekleştirilerek bu teknolojiyle satın alma davranışının sinirsel izdüşümlerini belirleme konusunda ne derece başarılı olunabileceği sınanmıştır. Katılımcıların gerçekçi satın alma kararları verebilmesini sağlamak amacıyla kendilerine deney süresince harcamaları için belirli bir miktarda para verilerek

deney boyunca gösterilen çeşitli fiyatlardaki 78 gündelik market ürünü arasından tercihlerine göre satın almaları istenmiştir. Bu sırada verdikleri kararlarla ilgili beyin hareketleri fNIRS nörogörüntüleme yöntemiyle ölçülmüş ve çalışma sonunda alınan bu ölçümlerle satın alma kararları arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

Proje raporu şu şekilde organize edilmiştir. Genel bilgiler kısmında nöroiktisat literatüründe ağırlıklı olarak fMRI yöntemiyle elde edilmiş bulgular özetlenmiştir. fMRI yöntemi fNIRS gibi hemodinamik hareketler üzerinden beyin hareketlerini izleyen bir yöntem olduğu için fNIRS çalışmaları için yol gösterici olmaktadır. Ayrıca fMRI bu alanda en çok kullanılan yöntem olarak da önce çıkmaktadır. Bu nedenlerden dolayı literatür taramasında ağırlık fMRI çalışmalarına verilmiştir. Gereç ve yöntem kısmında fNIRS teknolojisinin çalışma prensipleri özetlenmiş, deneysel kurgu ve kullanılan uyaranlar açıklanmıştır. Bulgular kısmında çalışma kapsamında yapılan 3 deney sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur. Son olarak, tartışma ve sonuç kısmında elde edilen bulguların literatüre göre bir değerlendirilmesi yapılarak fNIRS yönteminin saha uygulamaları için uygunluğu ve ileride yapılabilecek çalışmalarla ilgili öngörüler sunulmuştur.

## 2. GENEL BİLGİLER

Nöroiktisat, davranışsal iktisat ve sinirbilim yöntemlerini bir arada kullanarak satın alma gibi karar verme süreçlerini etkileyen nörobiyolojik faktörlerin daha iyi anlaşılmasını hedefleyen disiplinlerarası bir alan olarak son yıllarda ortaya çıkmıştır (Politzer, 2008). Başka bir deyişle, nöroiktisat çalışmaları karar verme süreçleri sırasında beynin ne gibi hesaplamaları gerçekleştirdiğini, nörobiyolojik süreçlerin bu hesaplamaları nasıl şekillendirip kısıtladığını inceleyerek insan karar verme süreçlerinin biyolojik geçerliliğe sahip modellerini oluşturmayı hedeflemektedir (Rangel ve Clithero, 2014). Bu alanda yapılan çalışmalar öğlen yemeğinde pizza veya salata gibi yemek türleri arasında yapılan seçimlerden, dinamik olarak değişen belirsiz durumlarda alınan finansal kararlara kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır (Glimcher ve Fehr, 2014). Kullanılan nörogörüntüleme sistemlerinin getirdiği kısıtlamalar nedeniyle nispeten basit karar süreçlerine odaklanılmış olsa da, bu çalışmalar ödül değerlendirme, belirsizliğin yönetimi ve değer kıyaslamalarıyla ilişkili bilişsel ve emosyonel süreçlerin altında yatan sinirsel mekanizmalar hakkında önemli bulgular elde edilmesini sağlamıştır (Smith ve Huettel, 2010).

Bu alanda yapılan bir grup çalışma beyindeki dopaminerjik sistemin ve etkilediği beyin bölgelerinin ödül beklentisi ve değer yargısı oluşturma süreçlerinde oynadığı role odaklanmıştır. Ağırlıklı olarak fMRI yöntemiyle yapılan bu çalışmalar, maddi ödül deneyimi ve değer yargısı oluşturma sırasında dopaminerjik sistemle ilişkili olan beyin sapı, ventral tegmental alan (VTA) gibi derin yapılarla ventral striatum (vSTR) ve ventromedial prefrontal korteks (vmPFC) gibi bölgelerde aktifleşmeler olduğunu göstermiştir (Schultz, 2006; Knutson et al., 2000; Knutson et al., 2003). Ödül kazanımı sırasında özellikle vmPFC ve orbitofrontal korteks (OFC) bölgelerinde yoğun sinirsel hareketliliğin gözlenmesi, bu bölgelerin ağırlıklı olarak ödül beklentisinin niceliklendirildiği yerler olduğu hipotezini desteklemektedir (Knutson vd., 2005).

Gerçek hayatta satın alma kararlarının verildiği durumlar bazı belirsizlikler ve riskleri de içermektedir. Belirsizlik, ödül/ceza beklentisi doğrultusunda mevcut tercihlere atfedilen subjektif değeri etkileyen bir başka önemli faktördür. Risk ve belirsizlik durumları içeren karar verme süreçlerine odaklanan nörogörüntüleme çalışmaları dorsolaterai ve lateral prefrontal korteks (dlPFC ve lPFC), vmPFC, OFC ve anterior cingulate korteks (ACC) bölgeleriyle VTA, vSTR ve amigdala gibi subkortikal yapıların bu süreçlerin idamesinde rolü olduğunu göstermektedir (Holper vd., 2014; Smith & Huettel, 2010). Bahsedilen bölgeleri içeren nöral ağın riskli durumlarda karar verme sırasında ortaya çıkan subjektif değerlendirme sinyalinin iki bileşeni olan ödül öngörüsü ve risk olasılığı değerlerini kodladığı düşünülmektedir (Schonberg vd., 2012). Lateral PFC bölgesinde gözlenen aktivitenin bireylerin risk tutumlarıyla ilişkili olduğu da göz önüne alındığında, bu bölgenin bahsedilen iki bileşenin entegre edilmesinde rol oynadığı düşünülmektedir (Tobler vd., 2009). Buna ek olarak, bu çalışmalar bahsedilen beyin bölgelerinde kayıp durumlarına kıyasla kazanım durumlarında daha güçlü bir aktifleşme olduğunu göstermiştir.

Bahsedilen beyin bölgeleri arasındaki işlevsel ve yapısal bağlantı ilişkilerini inceleyen çalışmalar vmPFC bölgesinin nucleus accumbens, hipokampus, posterior cingulate korteks bölgeleriyle, dmPFC bölgesinin ise inferior frontal gyrus, temporo-parietal kesişim ve middle temporal gyrus bölgeleriyle ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Buna ek olarak, vmPFC bölgesinde ödülle ilişkili görevler sırasında, dmPFC'de ise episodik hafıza erişimi içeren ve başkasının bakış açısını almayı (ing. perspective taking) gerektiren görevler sırasında aktivasyon artışı gözlenmektedir. Dolayısıyla, vmPFC'nin alttan-üste yürüyen, yaklaşma/uzaklaşma idamesi (ing. approach/avoidance modulation), ödül/ceza değerlendirmesi işlevlerini içeren süreçlerle ilişkili olduğu, dmPFC'nin ise üstten-alta yürüyen, olasılıklara ve duruma bağlı olarak değişkenlik gösteren, üst-bilişsel doğası olan sosyal biliş

süreçleriyle ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Bzdok vd., 2013). Bu çıkarımlar Bechara ve Damasio (2005) tarafından öne sürülen ve sinir sisteminin çeşitli seviyelerinde gerçekleşen düzenleyici süreçlerin hisler ve duygular olarak algılandığını ve bu hislerin verilen kararları yönlendirdiğini ifade eden somatik izleyici teorisi tarafından desteklenmektedir.

Bu bölgeler arasında iki seçenek arasında bir seçim yapılan basit karar verme senaryolarında ne tür bir bilgi akışı olduğunu araştıran çalışmalar, vmPFC'deki aktivasyonun oluşturduğu değer sinyalinin dmPFC ve intraparietal sulcus (IPL) bölgelerindeki aktiviteleri tetikleyerek bir kıyaslama süreci başlattığına, bu sürecin ardından aktivasyonun pre-motor ve motor bölgeye kayarak kıyaslama sonucunda yapılacak hamlenin icrasını (ör. ilgili düğmeye basma) gerçekleştirdiğine işaret etmektedir (Hare vd., 2011). Verilen kararlarda baskılama gerektiren çelişkili durumlar ve zorlanmalar söz konusu olduğunda ise, bahsedilen bölgelere ek olarak sağ ve sol dlPFC bölgelerinde de aktivasyon olduğu gözlenmiştir (Venkatraman vd., 2009; Pochon vd., 2008).

Belirsizliğin kontrol edildiği fMRI ile yapılmış bir başka bağlanırlık çalışmasında ise katılımcılar simüle edilen bir hisse senedinin fiyat hareketlerine bakarak al veya sat kararları verirken vmPFC–dmPFC ile dmPFC–IPL (intra-parietal lobule) bölgeleri arasındaki bağlanırlığın nasıl değiştiği incelenmiştir (Ogava vd., 2014). Fiyat değişiminin çok öngörülemediği, yüksek değişiklik arz eden durumlarda katılımcıların yakın geçmişteki fiyat hareketlerine bağlı olarak karar verdikleri ve satma/alma kararları arasında bir denge olduğu gözlenmiştir. Bu sırada vmPFC–dmPFC ile dmPFC–IPL bölgeleri arasındaki bağlanırlığın devam ettiği görülmüştür. Ekonomik balon içeren hisse senedi durumunda ise fiyattaki artış trendi sırasında gelecekte kar yapılacağına dair artan beklentiye paralel olarak katılımcıların satın almaya eğilim gösterdiği gözlenmiştir. Bu sırada beyin hareketleri incelendiğinde vmPFC–dmPFC arasındaki bağlanırlığın zayıfladığı, dmPFC–IPL arasındaki bağlanırlığın ise güçlendiği görülmüştür. IPL bölgesinin uzamsal ve zamansal algının belirli bir hedefe yönltilmesi, görsel/işitsel girdilerin içerisindeki yeni uyarıların fark edilmesi ve sayısal tahmin yürütme gibi süreçlerde önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir (Singh-Curry & Husain, 2009; Chochon vd., 1999). Ogava ve ark. bu farklılığın fiyatta oluşan balon hareketi dolayısıyla katılımcıların gelecekteki fiyat hareketlerine yönelik aşırı iyimser beklentiler oluşturmasından kaynaklandığını öne sürmüştür. Başka bir deyişle, vmPFC ile dmPFC arasındaki bağın zayıflamasının sonucunda, dmPFC'nin daha çok IPL ile etkileşime girerek yürütülen tahminlerin dış etkenlerden daha çok etkilendiği ve satın alma eğilimine yönelik bir yanlılık (ing. bias) oluşturduğu düşünülmektedir.

Ürünlerin sadece görünümü ve fiyatları üzerinden yapılan satın alma veya almama kararlarının da ödül beklentisini idame ettirdiği düşünülen bu bölgelerde izdüşümleri olduğu gözlenmiştir. Böyle bir deneysel düzeneğe sahip olan Knutson vd.'nin (2007) yapmış olduğu öncü fMRI çalışmasında katılımcılara sırasıyla ürün, ürün ve fiyat, en sonda da karar ekranı gösterilmiştir. Son ekranda katılımcılardan sunulan ürünü satın alıp almama konusunda karar vermeleri istenmiştir. Ürünler hem market fiyatlarıyla hem de market fiyatından düşük/yüksek şekillerde sunulmuştur. Yüksek fiyatlı ürünlerde insula bölgesinde aktivasyon artışı (bu bölge aynı zamanda tiksime ve benzeri negatif duygularla da ilişkilendirilen bir bölgedir) ve medial prefrontal korteks bölgesinde aktivasyon azalması görülmüştür (Knutson vd., 2007). Satın alınan ürünlerde ortak olarak beyin ödül sisteminin merkezlerinden biri olarak kabul edilen nükleüs akkübens (NAcc) bölgesinde aktivasyon artışı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu bölgelerde gerçekleşen aktivasyon artışları satın alma kararı konusunda fikir vermesi açısından öneme sahiptir.

Ek olarak, Knutson ve ark. (2007)'in çalışmalarını destekleyen benzer bir bulgu yine fMRI metoduyla yapılan Schaeffer ve Rotte (2007)'nin çalışmasıyla elde edilmiştir. Katılımcılara gösterilen logolardan tercih ettikleri markalar tercih etmedikleriyle karşılaştırıldığında geniş bir nöral ağ içerisinde bir aktivasyon artışı kaydedilmiştir. Ön plana çıkan beyin bölgeleri ventral striatum, dorsolateral prefrontal bölge ve inferior frontal gyrus'tur. Bu bölgelerde katılımcıların ilgisini çeken ve çekmeyen ürünlerin ayırd edilebilir sinirsel izdüşümler oluşturmuş olması, beyin hareketleri üzerinden hangi ürünlerin daha çok ilgi çekeceğine dair tahminler yürütülebileceğine işaret etmektedir.

Bu alandaki çalışmalar için önemli olan bir başka faktör gözlenen ilişkilerin kişiler arasındaki farklılıklardan ne derece etkilendiğidir. Falk ve ark. (2012) mevcut nörogörüntüleme çalışmalarının ilk başta sadece bireysel satın alma tercihleri hakkında bir öngörü sağladığının düşünöldüğünü, ancak nöral bilgilerden yola çıkılarak popölasyon düzeyindeki eğilimlerle ilgili öngörülerin de oluşturabileceğini ortaya koymuştur. Bunun yanında, Falk ve ark. (2012) çalışmasının bir diğer önemli katkısı, sözlü raporlarda insanların eğilimlerini aktarmamalarına rağmen nöral aktivasyonlarda bu farklılığın saptanabilmesidir. Bu sonuçlar, bireysel nöral hareketlerin birleştirilmesiyle popölasyona genellenebilecek satın alma karar modellerinin oluşturulabileceğine işaret etmektedir.

Satın alma ve finansal karar süreçleri üzerinde fNIRS yöntemiyle yapılmış çalışmalar yakın zamanda artış göstermiştir (Kopton ve Kenning, 2014). Literatürde yer alan öncü çalışmalardan olan Shimokawa ve ark. (2008) tarafından Shimadzu fNIRS cihazı kullanılarak

yapılan ürün tercihi çalışması aynı ekranda sunulan ürünler arasından yapılan tercihin medial frontal korteks bölgedeki aktivasyondan yola çıkılarak saptanabileceğini ortaya koymuştur. Luu ve Chau'nun (2009) yürüttüğü frekans eksenli fNIRS çalışmasında da katılımcıların benzer bir şekilde iki içecek arasında verdiği kararların oluşturduğu oksijenlenme trendleri incelenmiş, bulgular PFC bölgesinde gözlenen sinyallerin atımındaki ortalama değişimin hangi içeceğin seçildiğini %80 doğruluk payıyla öngörebildiğini göstermiştir. Bu çalışmalar ürün tercihi açısından önem taşımaya karşın, iki ürün arasındaki tercihi yansıtan psikoloji temelli deneyler içerdiklerinden satın alma karar sürecine spesifik olarak odaklanmamaktadır.

fNIRS ile yapılan konuyla ilgili diğer çalışmalar ağırlıklı olarak çeşitli risk durumlarında verilen finansal kararlara odaklanmaktadır. Örneğin Shimokawa vd.'nin (2009;2012) hisse senedi satın alma bağlamında yürüttüğü çalışmalarda medial prefrontal korteks ve OFC bölgelerine yakın olan optode'larda gözlenen oksijen-hemoglobin değişimleri üzerinden katılımcıların yatırım davranışları hakkında öngörüler yapmanın mümkün olduğu gözlenmiştir. Shimokawa ve ark. hisse senedi deneyinde başarı gösteren kişilerin beyin hareketlerinden elde edilen örüntüleri kullanarak bir yapay sinir ağ kurulumu, ve bu sinir ağının başarılı yatırımlar yapabildiğini göstermiştir (Shimokawa vd., 2012). Benzer bir çalışmada Holper vd. (2014) tüm kazanımların kaybedilmesi riskini içeren kararlar alınmasını gerektiren bir deneysel kurgu içerisinde fNIRS verilerinde gözlenen değişiklikleri incelemiştir. Holper vd.'nin bulguları dorso-lateral PFC bölgesinde gözlenen oksijenlenme trendindeki değişimin öznel risk alma tutumunu yordadığına işaret etmektedir. Belirsizlik ve risk durumları içeren bu çalışmalar ürün satın alma süreçlerinden çok finansal kararların risk algısı ve ödül beklentisi bileşenlerine odaklanmaktadır.

Özetle, satın alma kararlarının nörolojik izdüşümlerine odaklanan çalışmalar sayesinde bu sürecin idamesinde rol oynayan bölgeler ve aralarındaki ilişkiler hakkında önemli bulgular elde edilmiştir. Ağırlıklı olarak fMRI gibi maliyetli, pratik uygulanabilirliği olmayan sistemlerle yapılan bu çalışmalar, fMRI yöntemine kıyasla daha düşük uzamsal çözünürlüğü olan ancak sahada kullanım için uygun, düşük maliyetli fNIRS gibi yöntemlerle yapılan çalışmalar için yol gösterici olmuştur. Bu alanda sınırlı sayıda fNIRS çalışması yapılmış olup, mevcut çalışmalar satın alma süreçleriyle bire bir ilişkili değildir. Ayrıca yukarıda değinilen Shimokawa ve ark.'larının çalışmasında kullanılan Shimadzu fNIRS sistemi göreceli olarak maliyetli bir sistemdir. Proje kapsamında daha az maliyetli bir sistem olan fNIRS Imager 1000 bir satın alma senaryosunda işe koşulmuş, Knutson vd.'nin kullandığı deneysel tasarıma benzeyen bir ortamda verilen satın alma kararları incelenmiştir. Çalışmada fNIRS yöntemiyle satın alma

davranışının sinirsel izdüşümlerini belirleme konusunda ne derece başarılı olunabileceği sınırlanarak pratik uygulamalarla ilgili literatürdeki boşluğa hitap edilmesi amaçlanmıştır.

### 3. GEREÇ ve YÖNTEM

Çalışmada katılımcıların satın alma kararları verirken prefrontal kortekslerinde gerçekleşen aktivasyonlar ODTÜ-TSK Modelleme ve Simulasyon Merkezi'nde yer alan fNIRS Imager 1000 cihazıyla (Şekil 1) izlenmiştir. Bu cihaz üzerinde bulunan alıcılar vasıtasıyla prefrontal korteks tabakasında yer alan 16 bölgede oksijen kullanımında gerçekleşen değişimi ölçülebilmektedir. Deney sırasında ürünlerin katılımcıya ekran yoluyla gösterilmesi ve tercihlerinin klavye ile kaydedilebilmesi için bir bilgisayar kullanılmıştır. Deney bitiminde ise katılımcılara ürünleri günlük yaşamlarında kullanma sıklıklarını ve bu ürünler için uygun gördükleri satış fiyatlarını belirtmeleri istenen bir anket uygulanmıştır (anketler ve ürün listesi ekte sunulmuştur).



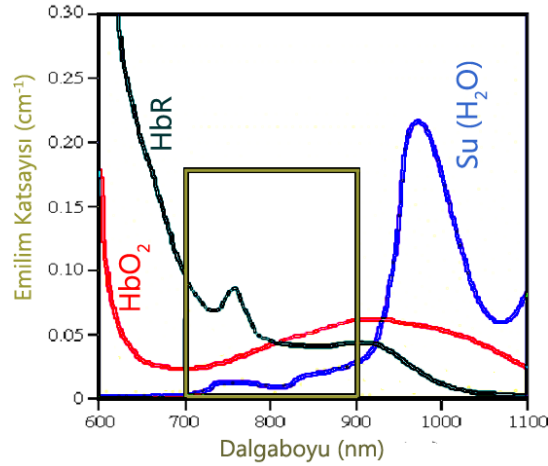
Şekil 1. fNIRS Imager 1000 kontrol kutusu (solda) ve dört LED kızıl-ötesi ışık kaynağı ve 10 algılayıcıya sahip olan fNIRS sensörü.

#### 3.1. Kızılötesi Işık ile Optik Beyin Görüntüleme Yöntemi

Kızılötesi ışık tayfölcümü (near-infrared spectroscopy) yöntemiyle beyin işlevlerinin takip edilebileceği ilk olarak Jobsis (1977) tarafından gösterilmiştir. Daha sonra 1990'lı yıllarda, bu teknolojinin insan beyninin işlevlerini izlemek için kullanılabilecek güvenli, zararsız (noninvazif) ve alternatiflere göre düşük maliyetli bir alternatif olabileceğinin gösterilmesiyle yaygın kullanımı artmıştır (Villringer vd., 1993; Strangman vd., 2002; Chance vd., 1993; Villringer ve Chance, 1997). 2000'li yıllarda gerekli donanım ve yazılımın olgunlaşmasıyla, bu yöntem yetişkin ve çocuklar dahil olmak üzere giderek artan bir kullanım alanına sahip olmuştur (Obrig vd., 2000; Ayaz vd., 2012).



İşlevsel kızılötesi tayföçümünün (fNIRS) çalışma temeli kızıl-ötesi ışığın doku içerisindeki soğurulma özelliklerine dayanmaktadır. 700 ile 900 nm dalgaboyları arasındaki kızıl-ötesi ışınları doku içerisinde en çok soğuran molekül alyuvarlardaki hemoglobin molekülüdür (Şekil 2). Su gibi dokuda bulunan diğer moleküller bu dalgaboyu aralığında çok az soğurulmaktadır. Ayrıca beyin, kafatası ve diğer doku çeşitleri 700-900nm arasında optik özellikleri bakımından yarı-saydam olarak etki etmektedir. Bu özelliklerden yararlanarak deri yüzeyine yerleştirilecek bir kızıl-ötesi ışık kaynağından çıkan fotonların yoğunluğu, dokuya nüfuz edip, kırılma nedeniyle her yöne doğru ilerlerken aynı zamanda soğurulacağı için azalır. Deri yüzeyinde, ışık kaynağına göre stratejik olarak yerleştirilmiş foto-algılayıcılar aracılığıyla geri dönen ışınların yoğunluğu kaydedilebilmektedir. Kızıl-ötesi ışığın şiddetinde zamana göre oluşan değişimin bu şekilde izlenebilmesi, ışığın geçtiği kaynak ile algılayıcı arasında yer alan bölgenin optik özelliklerinin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu bölgelerde optik özellikleri en çok etkileyen etmen kan akışı ve dolayısıyla hemoglobin molekülünün yoğunluğundaki değişim olduğu için fNIR yöntemiyle hemoglobin miktarındaki değişimin takip edilmesi mümkündür.



Şekil 2. Optik beyin görüntüleme için kullanılan 700 ile 900nm dalgaboyu aralığında, ışık emilimi en yüksek olan kromofor hemoglobin molekülüdür.

Işık ve doku arasındaki etkileşimde, fotonlar en etkin olarak alyuvarlar (hemoglobin) tarafından kısmen emilir, kısmen yansıtılır. Işığın emilme miktarı, oksijen-bağlı-hemoglobin (oxy-hemoglobin) miktarı ile doğru orantılı olarak değişir. Sinir hücrelerinin çalışması için gerekli olan enerjinin üretilmesi sırasında glikozun metabolize edilebilmesi için gerekli olan oksijen hücrelere kandaki hemoglobin molekülleri aracılığıyla ulaştırılır. Beynin çalışmasıyla oksijen talebi ve dolayısıyla temiz kan arzı artar. Kan akış hızı ve hacminin artışı sayesinde oksijen-bağlı-hemoglobin molekül sayısının artması, gönderilen kızıl ötesi ışığın daha çok emilmesine neden olur. Bu fiziksel ilkeye dayanan fNIRS, sinir hücrelerinin çalışmasına

orantılı bir işaret vererek beyin işlevlerindeki değişimin niceliksel olarak izlenmesini sağlamaktadır.

fNIRS optik beyin görüntüleme yönteminde kızıl-ötesi ışınların emilimindeki değişim bilgisinden hareket ederek oksihemoglobin ( $\text{HbO}_2$ ) ve deoksihemoglobin ( $\text{HbR}$ ) konsantrasyonundaki değişimin hesaplanması için uyarlanmış Beer-Lambert denklemi kullanılmaktadır (Obrig ve Villringer, 1998; Ayaz vd., 2012). Bu amaçla optik-pencere içerisinde yer alan 730nm ve 850nm dalgaboyuna sahip olan iki kızıl-ötesi ışın türüyle beyin dokusu yarım saniyede bir aydınlatılmaktadır. Işık kaynaklarının sırayla açılıp kapatıldığı bu süreç sırasında ışık kaynağına en yakın olan 4 algılayıcı ile dokudan geri yansıyan ışık miktarı ölçülür. Kızıl-ötesi yelpazede yer alan bir dalgaboyunda gözlenen optik yoğunluk miktarı fotonların katettiği mesafeye, katedilen mesafenin geometrik şekline ve bu dalgaboyundaki fotonları soğurması muhtemel kromoforların optik özelliklerine dayanmaktadır:

$$OD_\lambda = \log\left(\frac{I_{in}}{I_{out}}\right) \approx \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot d \cdot DPF_\lambda + G$$

Bu denklemde  $I_{in}$  verilen kızıl-ötesi ışığın yoğunluğunu,  $I_{out}$  dokudan yansıyan ışığın yoğunluğunu,  $\varepsilon$  hedeflenen kromoforun o dalgaboyundaki emilme katsayısını,  $c$  kromoforun konsantrasyonunu,  $d$  ışık kaynağı ve algılayıcı arasındaki mesafeyi, DPF (differential pathlength factor) fotonların saçılmalarındaki değişiklikler dolayısıyla daha uzun yol alma durumlarını dengeleyen çarpanı ve  $G$  ışığın doku içindeki zayıflama katsayısını ifade etmektedir.  $I$  ve  $c$  değişkenleri dışındaki değerler laboratuvar ortamında elde edilmiş sabit katsayılardır.

Yarım saniyede bir ölçülen optik yoğunluk değerleri arasındaki farklılıklar, o sırada  $\text{HbO}_2$  ve  $\text{HbR}$  moleküllerinin konsantrasyonundaki değişimin hesaplanması için aşağıdaki şekilde kullanılır:

$$\Delta OD_\lambda = \log\left(\frac{I_{rest}}{I_{test}}\right) = \varepsilon_\lambda^{\text{HbR}} \cdot \Delta c^{\text{HbR}} \cdot d \cdot DPF_\lambda + \varepsilon_\lambda^{\text{HbO}_2} \cdot \Delta c^{\text{HbO}_2} \cdot d \cdot DPF_\lambda$$

İki bilinmeyenli bu denklemden istenen  $\Delta c^{\text{HbR}}$  ve  $\Delta c^{\text{HbO}_2}$  değerlerinin hesaplanabilmesi için 730 ve 850nm dalga-boylarında iki ayrı ölçüm alınarak aşağıdaki sistemin çözüm kümesi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \Delta OD_{\lambda 1} \\ \Delta OD_{\lambda 2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_{\lambda 1}^{\text{HbR}} \cdot d \cdot \text{DPF}_{\lambda 1} & \epsilon_{\lambda 1}^{\text{HbO}_2} \cdot d \cdot \text{DPF}_{\lambda 1} \\ \epsilon_{\lambda 2}^{\text{HbR}} \cdot d \cdot \text{DPF}_{\lambda 2} & \epsilon_{\lambda 2}^{\text{HbO}_2} \cdot d \cdot \text{DPF}_{\lambda 2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta c^{\text{HbR}} \\ \Delta c^{\text{HbO}_2} \end{bmatrix}$$

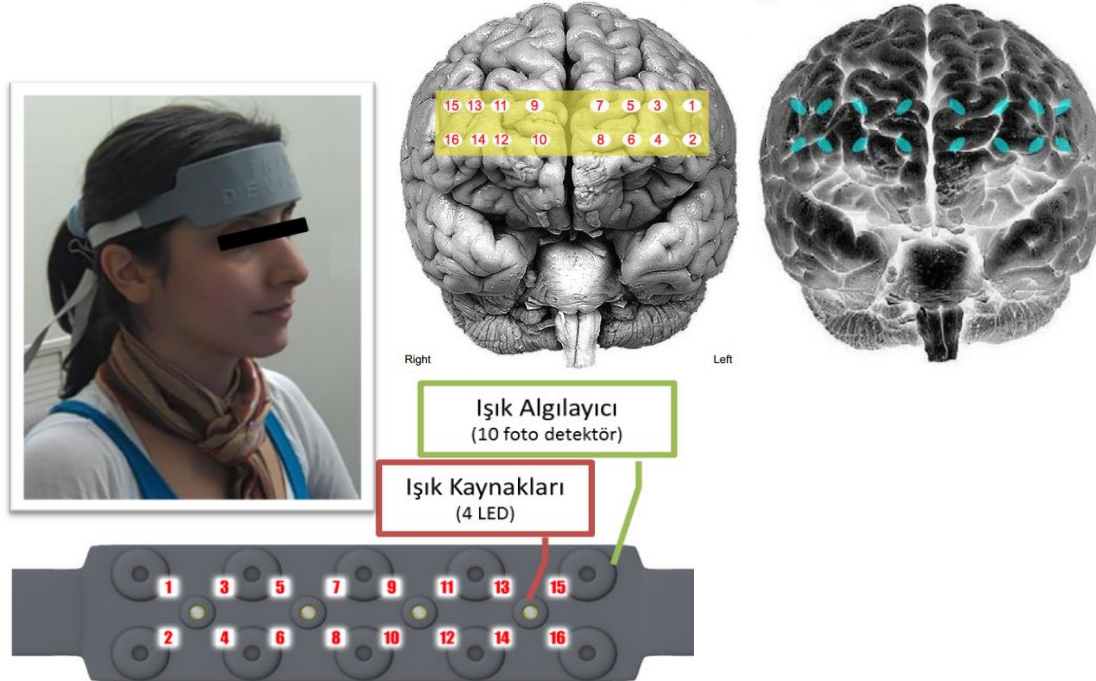
Katılımcının deneysel uyarana maruz kaldığı sırada yarım saniyede bir toplanan OD ölçümleri, dinlenme anında yapılan bir ölçüm referans alınarak bu denklemin çözülmesi sonucundan  $\Delta c^{\text{HbR}}$  ve  $\Delta c^{\text{HbO}_2}$  değerlerinde zamana bağlı olarak gerçekleşen değişim elde edilir. Spektroskopik yöntemle elde edilen ve  $\mu\text{molar/litre}$  düzeyinde ölçülen bu değerler  $\text{HbO}_2$  ve  $\text{HbR}$  moleküllerinin konsantrasyon miktarlarına yönelik kesin bir değer olarak değerlendirilmemelidir. Bir uyarının kontrollü olarak bulunduğu ve bulunmadığı şartlarda bu değerler arasındaki değişim miktarları incelenerek işlevsel beyin hareketleri hakkında çıkarımlar yapılmaktadır. Başka bir deyişle, bu değerler için absöüt bir sıfır noktası bulunmadığından, işlevsel beyin hareketlerinin fNIRS yöntemiyle izlenmesinde ölçümlerin artı veya eksi değer almasından çok belirli durumlarda (ör. satın alma ve satın almama) yapılan ölçümler arasında farklılaşma trendi olup olmadığı daha büyük önem taşımaktadır.

Özetle, fNIRS yöntemiyle temel olarak  $\text{HbR}$  ve  $\text{HbO}_2$  konsantrasyonundaki değişim ölçülmektedir. fNIRS ile izlenen bir beyin bölgesinde aktifleşme olduğu zaman ilk etapta civardaki kılcal damarlarda bulunan oksijen hızlı bir şekilde tüketileceği için öncelikle  $\text{HbR}$  konsantrasyonunda bir artma ve  $\text{HbO}_2$  konsantrasyonunda bir azalma görülmektedir. Bunu takip eden yaklaşık 5 saniyelik bir süre içerisinde dolaşım sisteminin bu bölgeye temiz kan arzını artırması ve kirli kanın bölgeden uzaklaşması sonucu  $\text{HbO}_2$  konsantrasyonunda bir artış gözlenir. Bölgedeki nöral aktivite düzeyi normal salınımına döndükten yaklaşık 8-10 saniye içerisinde o bölgedeki  $\text{HbO}_2$  ve  $\text{HbR}$  miktarları normal değerlere dönmektedir. Hemodinamik tepki olarak adlandırılan bu hareketler beyin hareketlerinin kandaki oksijen miktarındaki değişime paralel olarak incelenmesine imkan vermektedir. Bu bakımdan  $\text{HbO}_2$  ve  $\text{HbR}$  arasındaki farkın zamana göre değişimi o bölgedeki hemodinamik tepkinin boyutunu,  $\text{HbO}_2$  ve  $\text{HbR}$  toplamı ise o bölgede dolaşan kanın hacmindeki değişime paralel bir bilgi vermektedir. Oksijenlenme ve  $\text{HbT}$  (toplam hemoglobin) olarak adlandırılan bu iki parametre fNIRS literatüründe beyin hareketlerinin niceliklendirilmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında satın alma ve satın almama kararlarının oluşturduğu beyin aktiviteleri oksijenlenme ölçümleri baz alınarak değerlendirilmiştir.

### 3.2. fNIRS Sistemi

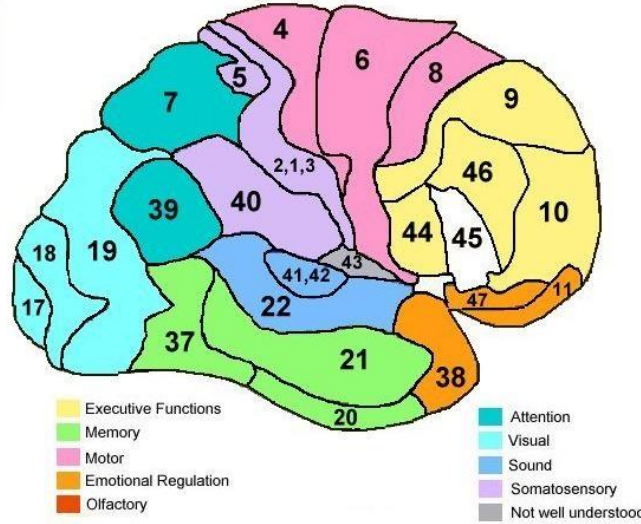
Çalışma kapsamında yapılan deneyler sırasında, gönüllü katılımcıların ön beyinlerindeki aktivite alın bölgesinin üzerine Şekil 3'de görüldüğü biçimde yerleştirilen fNIRS algılayıcısıyla kaydedilmiştir. Çalışmada kullanılan fNIRS sistemi, ilk önce Chance (1993) tarafından tarif edilmiş ve Drexel Üniversitesi'nde (Philadelphia, PA) geliştirilerek fNIR Devices, LLC (Potomac, MD; www.fnirdevices.com) tarafından üretilmiştir. Sistem üç ana bileşenden oluşmaktadır: i) alın bölgesine yerleştirilen ve ışık kaynağı ile foto-detektörlerden oluşan algılayıcı, ii) kontrol ünitesi ve işaretlerin analogtan sayısala çevrilmesini sağlayan donanım kutusu, iii) bilgisayar üzerinde çalışan, sistemi işletip, işaretleri toplayan ve görselleştiren COBI Studio yazılımı (Ayaz vd., 2012;2013).

Şekil 3'de görüldüğü şekilde alın bölgesine yerleştirilen fNIRS sensörü yardımıyla prefrontal korteks bölgesinde yer alan 16 bölgeden 2Hz frekansında veri alınabilmektedir. Voxel veya optode olarak adlandırılan bu ölçüm noktalarının uzamsal çözünürlüğü santimetre mertebesindedir ve 1.5 cm kadar derinden bilgi alınabilmektedir. Şekil 4'de sol beyin korteks tabakası için verilen Broadmann haritası göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgelerin 9, 10, 46 ve 45 numaralı beyin bölgelerine denk geldiği görülebilir.



Şekil 3. fNIR algılayıcısının alına yerleştirilmiş hali (sol üst resim) ve beyin yüzey imgesinde yaklaşık ölçüm merkezleri (sağ üst resim). fNIRS algılayıcısı, 4 adet ışık kaynağı ve 10 adet foto detektör ile 16 beyin bölgesini ölçebilmektedir (en alttaki resim).

Daha spesifik olarak belirtmek gerekirse, optode 1-4 sol lateral anterior PFC (ya da DLPFC), optode 5-8 sol medial anterior PFC bölgelerine tekabül etmektedir (Ayaz vd., 2006). Medial bölge özelinde optode 5 ve 6 sol dorsomedial PFC, optode 7 ve 8 frontopolar PFC bölgelerine denk gelmektedir. 9-16 numaralı optode altında yer alan bölgeler ise PFC'nin sağ beyin lobunda kalan simetrik kısımlarına denk gelmektedir (ör. 9-10 sağ dmPFC, 11-12 sağ frontopolar PFC, 13-16 sağ dIPFC bölgelerine denk gelmektedir).



Şekil 4. Sol hemisferdeki Brodmann bölgeleri<sup>1</sup>.

Milimetre mertebesinde ve tüm derinliklerde beynin hemodinamik hareketlerinin izlenmesine olanak veren fMRI yöntemine kıyasla fNIRS daha düşük uzamsal çözünürlük sunabilmektedir. Ancak ölçüm sırasında oluşan baş hareketlerini daha iyi tolere etmesi, daha yüksek zamansal çözünürlük sunması ve taşınabilir olması dolayısıyla masa başında hatta market içerisinde kullanım imkanı tanınması bakımından fNIRS, fMRI yöntemine göre önemli avantajlar da sunmaktadır.

### 3.3. fNIRS Sinyal İşleme İşlemleri

Deney sırasında toplanan fNIRS sinyalleri arasında doyuma ulaşan veya çok zayıf seviyede sinyal alınabilen kanallar (algılayıcı ve deri arasına saç gelmesi, aşırı terleme veya bir algılayıcının deri ile düzgün temas edecek şekilde yerleştirilememiş olması gibi nedenlerden dolayı) değerlendirme dışı bırakılmıştır. Deney sırasında deneklerin başlarını hareket ettirmeleri sonucu kan dolaşımında gerçekleşen fiziksel değişimlerin sinyaller üzerindeki

<sup>1</sup> Şekil <http://www.brodmannarea.info/index2.htm> adresinden alıntılanmıştır.

etkisi SMAR (İng. sliding windows motion artifact filter) süzgeci yardımıyla azaltılmıştır (Ayaz, 2011). Nefes alış-veriş hızı, kalp atışı ve kan basıncındaki değişim (Mayer döngüleri) gibi bazı ek faktörler de kan dolaşımını etkilemektedir (Elghozi vd., 1991). Bu faktörler ham fNIRS sinyaline yüksek frekanslı gürültü olarak yansıdığı için alçak geçiren bir filtre ile etkileri azaltılabilmektedir (Ayaz vd., 2013, İzzetoğlu vd., 2005). Bu amaçla, literatürde uygulanan yöntemlere uygun olarak, SMAR uygulanan fNIRS işaretlerine sonlu dürtü yanıtı (İng. finite impulse) alçak-geçiren (İng. lowpass) doğrusal fazlı ve 0.1 Hz limitli bir filtre daha uygulanmıştır. Böylece fNIRS işaretleri kalp atışı, nefes alış-verişi, kan basıncı değişiklikleri gibi faktörlerin kan dolaşımını dinamikleri üzerinde yarattığı yüksek frekanslı gürültüden arındırılmıştır. fNIRS işaretleri deney sırasında otomatik olarak toplanmış zaman eşleştirme bilgisi kullanılarak görev sürelerine ayrılmıştır. Her satın alma bloğu sırasında kan oksijenlenmesi ve kan hacmi miktarlarında oluşan değişim uyarlanmış Beer-Lambert kuralıyla hesaplanmıştır. Baseline olarak blok öncesi dinlenme sırasında kaydedilen ham sinyaller kullanılmıştır.

İstatiksel analiz olarak, satın alma ve almama durumlarında ürün, fiyat ve karar aşamalarında gözlenen oksijenlenme değerinde bir farklılık olup olmadığının test edilmesi için iki yönlü, tekrarlı varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Geisser–Greenhouse (G–G) düzeltmesi ile işaretlerde olası küresellik (İng. sphericity) ihlalleri giderilmiştir. Veri analizi için fnirSoft yazılımının 2.0 ve 3.4 sürümleri (Ayaz, 2010) ile IBM SPSS yazılımının 22. Sürümü kullanılmıştır. Birden fazla kanalda kaydedilen oksijenlenme değerleri arasındaki ilişkileri de hesaba katarak bir değerlendirme yapılabilmesi için MANOVA ve diskriminant analizi yöntemlerine başvurulmuştur.

### **3.4. Deney Deseni**

Ürünler ve fiyatları katılımcılara bilgisayar aracılığı ile gösterilmiştir. Katılımcılara gösterilen görsellerde, hakkında karar vermeleri istenen her ürün için önce ürünün resmi, ardından ürünün satış fiyatıyla birlikte gösterilmiş, sonra da ürünü satın alma/almama tercihlerini bildirmeleri istenmiştir. Katılımcılar tercihlerini klavyede iki olası tercih (satın almak veya almamak) için belirlenmiş olan iki tuştan birine basarak belirtmiştir. Uyarılar E-prime yazılımında kurgulanmış bir deney düzeneği aracılığıyla katılımcılara gösterilmiştir. Satın alma kararlarına ek olarak karar verme süreleri de otomatik olarak E-prime yazılımı yardımıyla kayıt edilmiştir. Deneyde gösterilen ürünler gıda, temizlik ve kişisel bakım ihtiyaçlarına yönelik ürünlerdir. Deneyin bitiminde katılımcılar görmüş oldukları her bir ürünün günlük yaşamlarında kullanma sıklıklarını ve bu ürünler için uygun gördükleri satış fiyatlarını

belirttikleri bir anket doldurmuşlardır. Deneyde kullanılan 78 ürünün listesi, görseller ve anket ekte sunulmuştur. Katılımcılara deney katılım ücreti olarak 10 TL verilmiştir.



Şekil 5. Deneylerde kullanılan uyarıların blok içerisindeki gösterim süreleri (üçüncü deneyde ürün gösterim süresi 1 saniye, dinlenme süresi ise 2 saniye uzatılmıştır).

Çalışma sırasında katılımcılara deney katılım ücreti olan 10 TL'ye ek olarak deney boyunca satın aldıkları ürünlerden en fazla 40 TL'lik kısmı verileceği belirtilmiştir. Bunun yanında (deney için gerekli olan miktarda satın alma kararının verilmesini teşvik etmek amacıyla) 50 TL'ye ulaşmayan satın almalarda harcanmayan paranın %50'sinin kendilerine nakit olarak verileceği söylenmiştir. Deneyden sonra katılımcılara iki seçenek sunulmuştur: (1) satın aldığınız ürünler içinden 50 TL'lik kısmı sistem tarafından belirlenip 1 hafta içinde size ulaştırılacak ya da (2) satın alma sürecinde harcamanız için verilen para (40 TL) size nakit olarak verilecektir. Katılımcıların hepsi 2. seçeneği seçmiş ve para karşılığı olarak almayı tercih etmişlerdir.

Yukarıda da belirtildiği gibi katılımcıların deney boyunca verdikleri satın alma ve satın almama kararları sırasında eş zamanlı olarak beyin işlevleri ölçülmüştür. Bu çalışmada beyin karar verme süreçlerinde önemli bir rolü olduğu düşünülen prefrontal korteks bölgesinde gerçekleşen oksijenlenme miktarındaki değişim fNIRS yöntemiyle ölçülmüştür. Çalışmada satın alma ve satın almama kararları sırasında yapılan fNIRS ölçümleri bakımından anlamlı bir farklılık olup olmadığı araştırılmıştır.

Literatürdeki mevcut bulgular orbito frontal korteks (OFC), dorsomedial PFC (dmPFC) ve dorsolateral PFC (dlPFC) bölgelerinin satın alma ve satın almama kararları üzerinde rolü olduğunu öngörmektedir. Buna bağlı olarak fNIRS sisteminin sunduğu 16 ölçüm noktası dört ana kısma ayrılarak ele alınmıştır. Bu noktalardan 1,2,3 ve 4. kanallar sol dlPFC bölgesine, 13,14,15 ve 16. kanallar ise sağ dlPFC bölgesine denk gelmektedir. fNIRS sisteminde sol dmPFC'ye denk gelen kanallar 5,6 ve sağ dmPFC'ye denk gelen kanallar ise 11,12 olarak

değerlendirilmiştir. 7,8,9 ve 10. kanallar ise orbitofrontal korteksin devamı olan frontopolar bölgelere denk gelmektedir. Satın alma kararlarıyla önemli bir ilişkisi olduğu bilinen vmPFC bölgesi ise prefrontal korteksin göz yuvalarının arkasında kalan bölümünde yer aldığı için fNIR 1000 sensörüyle izlenememekle beraber, bu bölgeyle etkileşime giren OFC bölgesine denk gelen 8. ve 10. kanallarda ürün beğenisine paralel olarak artan bir aktivasyon gözlenmektedir. Ayrıca, fMRI literatüründe belirtilen etkiler göz önüne alındığında fNIRS sinyalinde satın alma ve satın almama durumlarında dmPFC bölgesinde gözlenen aktivasyonda da bir farklılık olması beklenmektedir. Çalışmada elde edilen veriler yardımıyla bu hipotezler sınanmıştır.

#### 4. BULGULAR

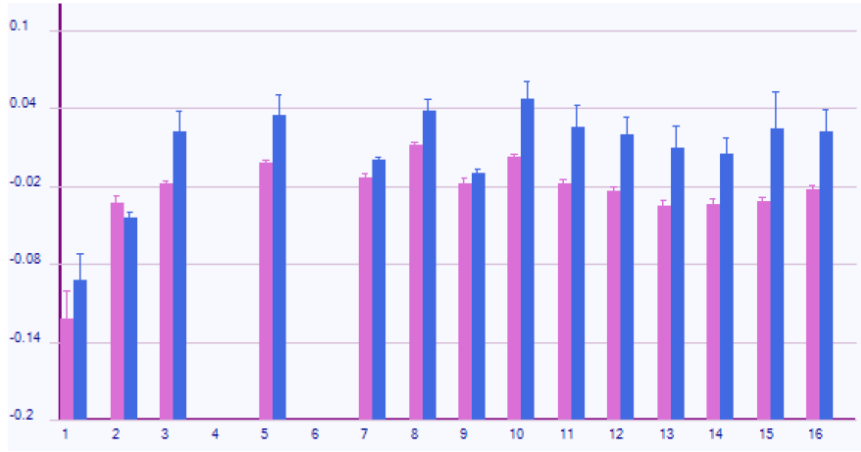
Deney kapsamında elde edilen veriler iki ayrı koldan değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki katılımcıların verdikleri kararlardan oluşan (satın alıp almama ve tepki verme hızı) davranışsal verilerdir. İkincisi ise fNIRS yöntemi ile katılımcıların beyin ön bölgesindeki nöral aktivasyon düzeyleridir. Toplanan nörogörüntülemesi deney boyunca oluşturulan bloklara ayrılarak hesaplanmıştır. Daha açık bir ifadeyle katılımcının gördüğü (ilk ürün olsun) ürün resmi için bir nöral aktivasyon değeri hesaplanmış, fiyatıyla birlikte ürün resmini gördüğü için ayrı bir nöral aktivasyon değeri hesaplanmış ve benzer şekilde satın alıp almama kararı verdiği slayt için de ayrı bir değer hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler blok içindeki ortalama değerlerdir. Daha net bir ifadeyle 4 saniyelik bir slayt boyunca yaklaşık olarak 7-8 veri alınmıştır. Bu blok için hesaplanan nöral aktivasyon değeri bu verilerin ortalamasıdır.

##### 4.1. Birinci Deney Seti

İlk deney setinde henüz TÜBİTAK'tan ilgili katılımcı ücretleri tahsis edilememiş olduğundan katılımcılara sadece 10 TL katılım ücreti verilerek yapılmış, deney sonrasında herhangi bir ürün teslimi yapılmamıştır. Sadece satın alacakları ürünlerden birinin deneyden sonra kendilerine hediye edileceği söylenmiştir. Bu tasarımla daha sonra yapılacak paralı satın alma deneyleriyle karşılaştırma yapılması üzerine bir temel etkinlik seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Dolayısıyla, insanların tercihleri ve satın alma kararlarının yarattığı nöral aktivasyon örüntüleri hakkında da bir öngöründe bulunulması hedeflenmiştir. Bu çalışmada kullanılan sensörde kısmi arıza olduğundan 16 kanalın 14'ünden sağlıklı şekilde veri elde edilmesi mümkün olmuştur ve istatistiksel analizlere dahil edilmiştir.



Deneylere 28 katılımcı (18 erkek 10 kadın olmak üzere) katılmıştır. 5 katılımcının verileri yüksek düzeyde gürültüden ötürü istatistiksel analizlere dahil edilememiştir. Filtreleme sonrasında elde edilen oksijenlenme verileri üzerinden her katılımcı için satın alma ve satın almama durumlarında ürün, fiyat ve karar verme kısımlarında gözlenen ortalama değerler hesaplanmıştır. Blok ortalamalarının bağımlı, blok türü ve satın alma/almama durumlarının bağımsız değişken olarak tanımlandığı iki yönlü tekrarlı ANOVA yöntemiyle veriler istatistiksel analize tabii tutulmuştur. 16 kanalın her biri için ayrı bir ANOVA analizi yapılmıştır.



Şekil 6. Birinci deneyde katılımcıların para harcaması yapmadan satın alma (pembe) ve satın almama (mavi) kararı verdikleri durumlarda 16 ölçüm noktasında gözlenen ortalama oksijenlenme miktarı ( $\mu\text{molar/litre}$ ). Dördüncü ve altıncı kanallar sinyallerdeki gürültü dolayısıyla değerlendirme dışında bırakılmıştır. Barların üzerindeki çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.

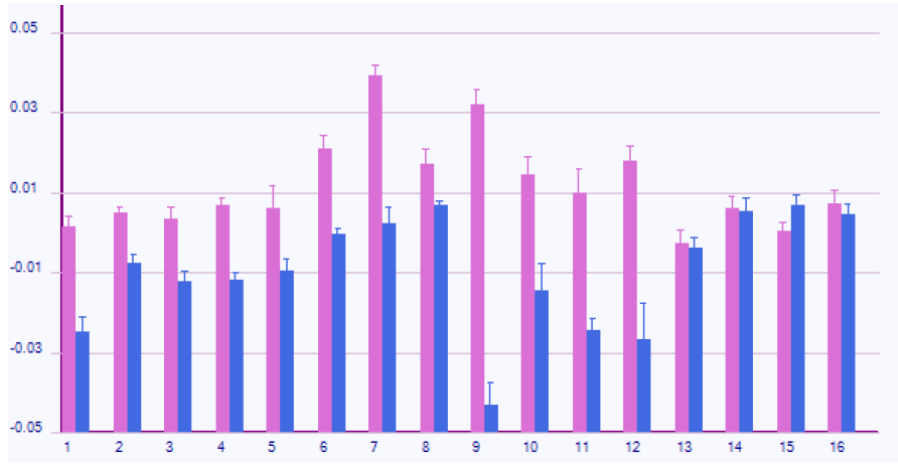
Şekil 6 deneklerin gerçek para kullanmadan satın alma kararı verdikleri deney sonucunda üç aşamanın tamamında tüm kanallarda gözlenen oksijenlenme ortalamalarını göstermektedir. Bar grafikte ortalama değerlerin genel olarak birbirine yakın değerler izlediği görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, katılımcılara harcamaları için para verilmediği durumda satın alma kararları sırasında beynin ön bölgesinde gözlenen oksijenlenme hareketleri üzerinde anlamlı bir farklılığın gerçekleşmediği gözlenmiştir.

#### 4.2. İkinci Deney Seti

İkinci deney seti TÜBİTAK'tan sağlanan destek ile gerçekleştirilmiştir. Yöntem ve gereçler bölümünde belirtildiği gibi katılımcılara deneye katılım için 10 TL verilmiş, deneyde harcamak

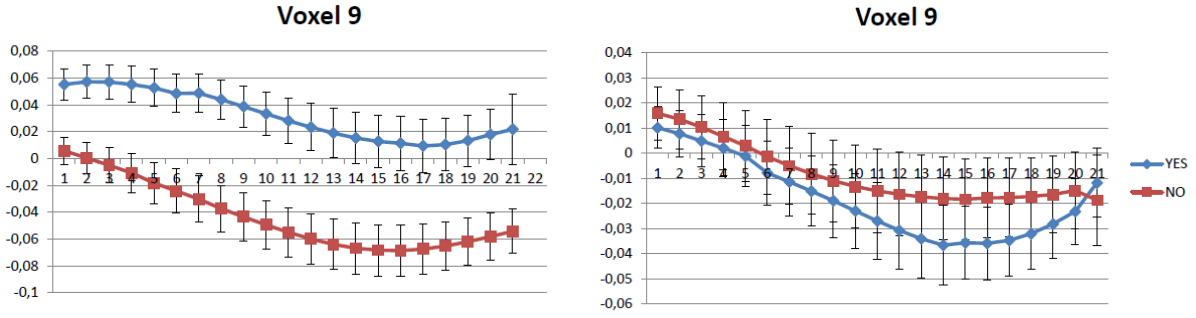
üzere de 40 TL karşılığı ürün verileceği belirtilmiştir. İlk deney setinde kullanılanlarla aynı ürünler kullanılmış ve gösterim yine pseudo-random olarak sağlanmıştır.

İkinci setteki deneylere toplam 30 katılımcı katılmıştır. 8 katılımcının verileri yüksek düzeydeki gürültüden ötürü analizlere dahil edilememiştir. İstatistiksel analizler 22 katılımcının (14 erkek, 8 kadın) verileri üzerinden yapılmıştır. Şekil 7’de satın alma ve almama kararları sırasında 16 kanalda gözlenen ortalama oksijenlenme değerleri gösterilmiştir.



Şekil 7. İkinci deneyde katılımcıların para harcaması yaparak satın alma (pembe) ve satın almama (mavi) kararı verdikleri durumlarda 16 ölçüm noktasında gözlenen ortalama oksijenlenme miktarı (µmolar/litre). Barların üzerindeki çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.

Katılımcıların gerçek para harcadığı ikinci deneyde sağ frontopolar kortekse denk gelen 9. voxel ( $F(1,12) = 8,81, p < .05$ ) ve sağ dmPFC'ye denk gelen 11. voxel ( $F(1,16) = 5,94, p < .05$ ) bölgelerinde satın alma ve almama kararları arasında anlamlı bir farklılık gözlenmiştir. Aynı zamanda sol dIPFC bölgesine denk gelen 1. voxel bölgesinde de anlamlı bir farklılık gözlenmiştir  $F(1,18) = 6,25, p < .05$ . Şekil 8’de görüldüğü üzere, gerçek para harcayarak satın alma yapılan deney 2 sırasında sağ frontopolar bölgesinde satın alma ve almama kararları arasında ortalama oksijenlenme trendleri bakımından anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Gerçek para harcayarak satın alma yapılmayan durumda ise bu etkinin ortaya çıkmadığı gözlenmektedir. İlk iki deneyin sonuçları proje kapsamında tamamlanan yüksek lisans tezinde (Aşçı, 2014) daha detaylı olarak ele alınmıştır.



Şekil 8. İkinci deneyde gerçek satın alma yapılmayan (sol) ve yapılan (sağ) durumlarda sağ frontopolar bölgede (voxel 9) oksijenlenme miktarında gözlenen zamana bağlı ortalama değişim. Çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.

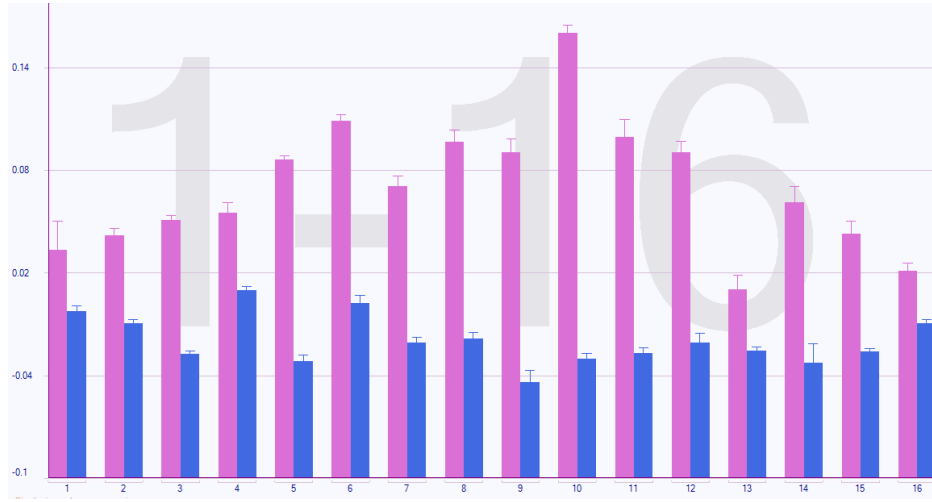
#### 4.3. Üçüncü Deney Seti:

Üçüncü deney seti de ikinci deney seti gibi katılımcılara harcamaları için belirli bir miktar para verilerek yaptırılmıştır. İkinci deney setinde kullanılan deneysel tasarım üzerinde bazı ufak değişiklikler yapılmış, dinlenme ekranının gösterim süresi 5 saniyeden 8 saniyeye çıkartılmıştır. Ürün, fiyat ve satın alma karar ekranlarının 4'er saniye süreyle gösterildiği bu tasarımda her bir karar bloğunun toplam süresi 20 saniyeye çıkarılmıştır. Bu değişiklikteki temel amaç ürün geçişleri arasında katılımcıların beyin hareketlerinin baseline seviyesine dönmesi için yeterli zamanı sağlayabilmektir.

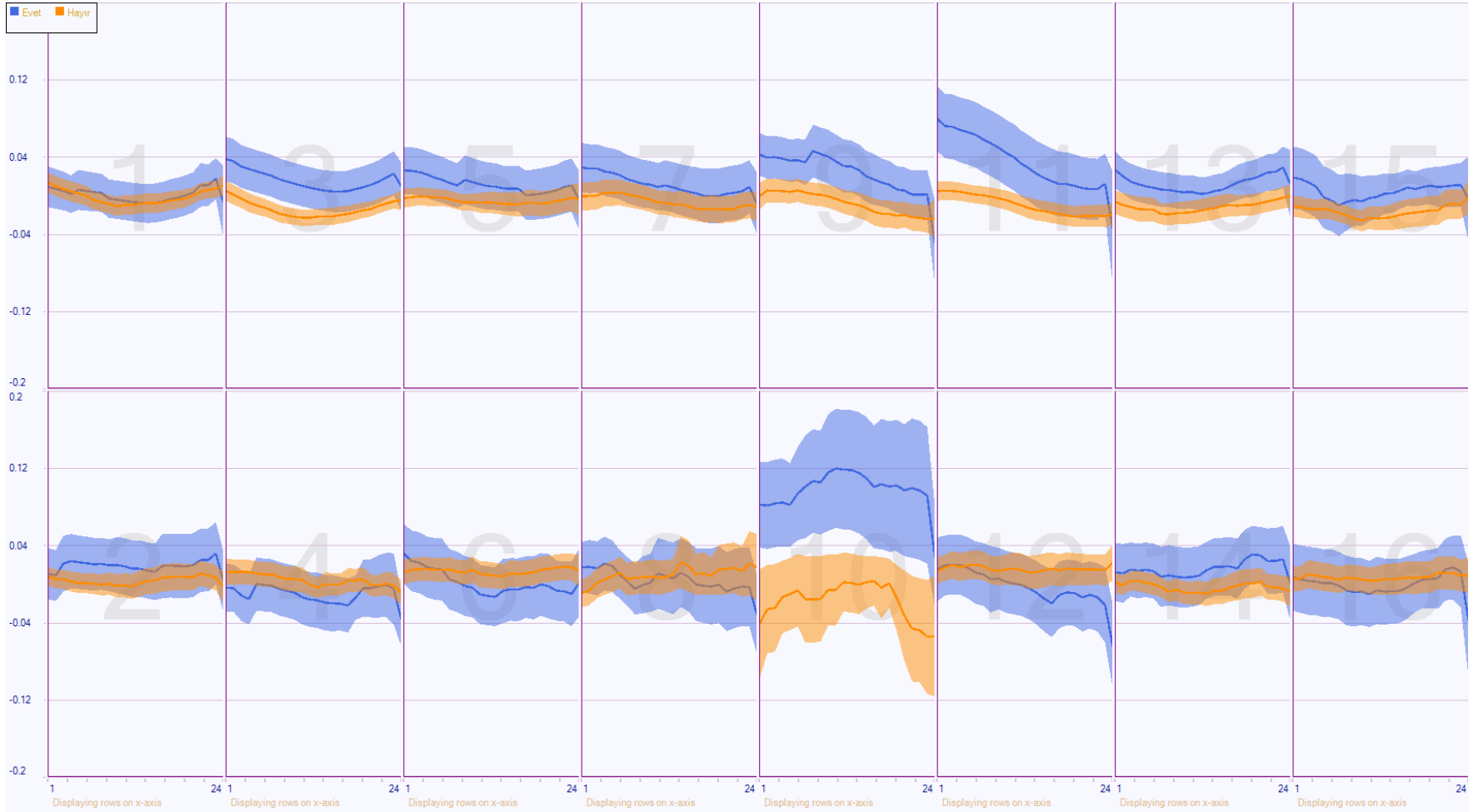
Üçüncü deney kapsamında ThinkNeuro firmasının katılımcı havuzunda yer alan, yaşları 18 ile 46 arasında değişen 33 denekten (17 kadın, 16 erkek) veri toplanmıştır. Blok süreleri haricinde deney düzeneğinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Katılımcıların satın alma kararları incelendiğinde ağırlıklı olarak 40TL'lik harcama limitinin aşıldığı gözlenmiştir (ortalama = 92.4, medyan = 94.6, standart sapma = 54.1). Sadece 11 katılımcı hedeflenen 40TL'ye  $\pm 20$ TL yaklaşacak şekilde satın alma performansı göstermiştir. Deney sırasında satın alma düğmesine hiç basmayan bir katılımcının verileri değerlendirme dışında bırakılmıştır. Toplam bütçeyi gözeterek alışveriş yapan 11 kişi, bütçeyi aşan 21 kişi ve 32 kişilik tüm örneklem üzerinde ayrı ayrı istatistiksel analiz yapılmıştır.

2. deneyde olduğu gibi, her voxel için ürün, fiyat ve karar aşamalarında gözlenen ortalama oksijenlenme değerleri hesaplanarak satın alınan ve alınmayan durumlara göre gruplanmıştır. Her deneğin 78 ürün arasından satın alma yaptığı ve yapmadığı durumlar için bu üç aşama sırasında gözlenen oksijenlenme değerleri belirlenmiştir. Bu ortalama değerler üzerinde satın alma kararı ve aşamanın bağımsız değişken, oksijenlenme ortalamasının bağımlı değişken olarak ele alındığı 2x3 ANOVA analizi yapılmıştır. Her voxel bağımsız

olarak incelendiğinde sadece dmPFC bölgesine denk gelen 10. kanalda karar türü bakımından satın alma lehine anlamlı bir fark olduğu gözlenmiştir,  $F(1,186) = 7.65$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .04$ . Aşamanın ve aşama ile karar türü arasındaki etkileşimin herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. 30 kişilik örneklemede satın alma kararı verilen 12 saniye süresince gözlenen ortalama oksijenlenme trendi Şekil 10'da sunulmuştur. Bu şekildeki trendlerden anlaşıldığı üzere satın alma ve satın almama kararlarında gözlenen ortalama oksijenlenme trendi en çok voxel 10'da ayrılmaktadır.



Şekil 9. Üçüncü deneyde katılımcıların para harcaması yaparak satın alma (pembe) ve satın almama (mavi) kararı verdikleri durumlarda 16 ölçüm noktasında gözlenen ortalama oksijenlenme miktarı ( $\mu\text{molar/litre}$ ). Barların üzerindeki çubuklar standart hata miktarını göstermektedir.



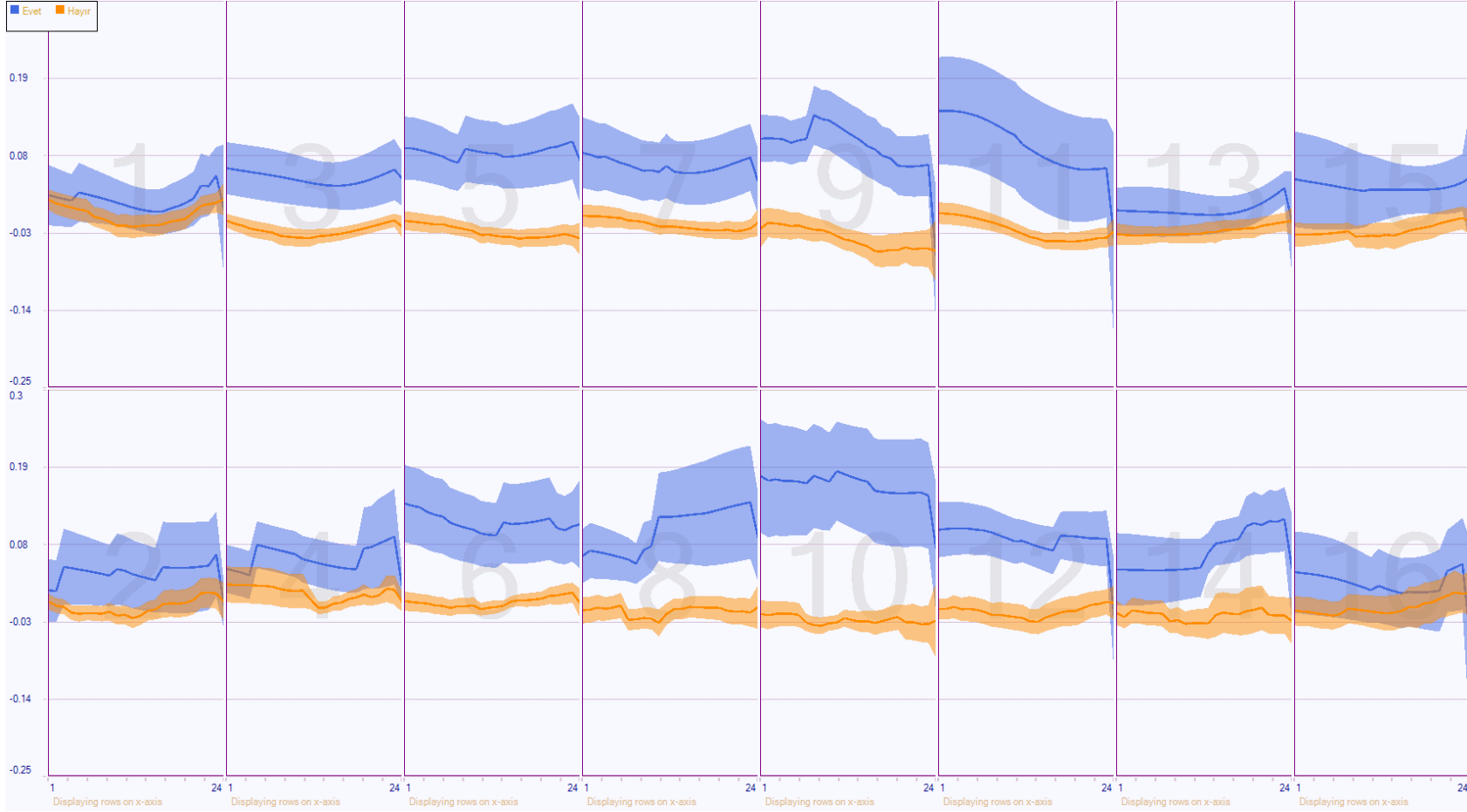
Şekil 10. 32 katılımcının satın alma kararı verdiği 12 saniyelik bölümde prefrontal kortekste yer alan 16 ölçüm noktasındaki oksijenlenme miktarında gerçekleşen ortalama değişim. Açık mavi ve açık turuncu olarak gösterilen bölgeler standart hata miktarlarını göstermektedir.

Toplam bütçeyi gözeterek alış veriş yapan 11 kişilik alt örnekleme aynı analiz uygulandığında sağ dmPFC bölgesine denk gelen 10. kanalda satın alma kararı lehine olan farklılığın korunduğu görülmüştür,  $F(1,60)=18.05$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.23$ . Buna ek olarak sol dIPFC'de yer alan voxel 3 ( $F(1,60)=11.44$ ,  $p<.01$ ,  $\eta^2=.16$ ), sol dmPFC'de yer alan voxel 5 ( $F(1,60)=16.34$ ,  $p<.01$ ,  $\eta^2=.21$ ), sol frontopolar bölgede yer alan voxel 7 ( $F(1,60)=9.46$ ,  $p<.01$ ,  $\eta^2=.14$ ) ve voxel 8 ( $F(1,60)=10.95$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.15$ ), sağ frontopolar bölgede yer alan voxel 9 ( $F(1,60)=24.37$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.29$ ) ve voxel 10 ( $F(1,60)=18.05$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.23$ ), sağ dmPFC'de yer alan voxel 12 ( $F(1,60)=20.42$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.25$ ) ve sağ dIPFC'de yer alan voxel 14 ( $F(1,42)=4.42$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.20$ ) ve voxel 15 ( $F(1,54)=4.16$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.07$ ) bölgelerinde satın alma lehine anlamlı bir farklılık görülmüştür. Tüm örneklemede gözlenen sağ dmPFC bölgesine denk gelen 10. kanalda satın alma kararı lehine olan farklılığın 11 kişilik alt örneklemede de korunduğu görülmüştür. Ürün, fiyat ve karar aşamalarında gözlenen ortalama oksijenlenme seviyeleri arasında bir farklılık gözlenmemiştir. Son olarak, aşama ile karar türü arasındaki etkileşimin herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

Satın alma yaparken bütçe limiti gözetmeyen 21 kişinin verisi ayrı olarak ele alındığında sol dmPFC'ye denk gelen voxel 5 ( $F(1,120)=14.22$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.11$ ) ile voxel 6'da ( $F(1,120)=12.96$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.10$ ), sol frontopolar bölgeye denk gelen voxel 8'de ( $F(1,120)=8.84$ ,  $p<.01$ ,  $\eta^2=.07$ ), ve sağ dmPFC'ye denk gelen voxel 12'de ( $F(1,120)=9.72$ ,  $p<.01$ ,  $\eta^2=.08$ ) satın almama lehine anlamlı bir fark gözlenmiştir. Diğer kanallarda karar türü bakımından anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Özetle, bu gruptaki 21 kişinin satın alma ve almama durumlarındaki oksijenlenme miktarları, toplam bütçeyi gözeterek dikkatli satın alma yapan 11 kişiye kıyasla ters istikamette bir trend göstermektedir. Son olarak, bu alt örneklemede aşama seviyeleri ve aşama ile karar türü arasındaki etkileşimin herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

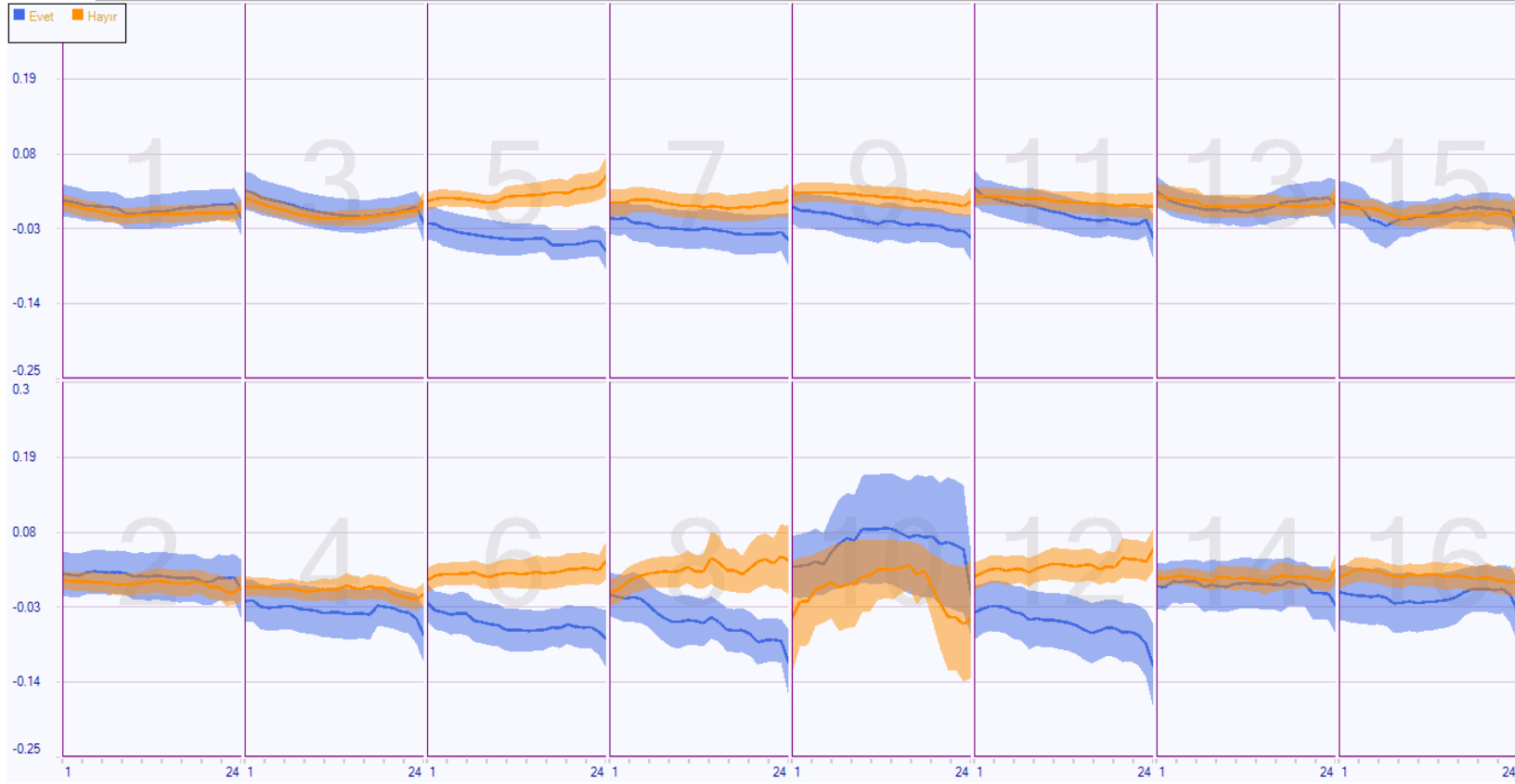
Şekil 11 bütçe kısıtını gözeterek harcama yapan 11 kişilik alt örnekleme, şekil 12 ise bütçeyi aşarak harcama yapan 21 kişilik alt örnekleme ait zamana bağlı ortalama oksijenlenme değişimini göstermektedir. Şekil 10'a göre satın alma ve almama durumlarındaki en önemli farklılık frontopolar ve dmPFC bölgelerinde satın alma durumu lehine gerçekleşmektedir. Bütçe aşımı yapan kişilerde ise benzer bir ayrışmanın olmadığı görülmektedir. İstatistiksel olarak satın alma ve almama kararları arasında anlamlı bir fark gözlenen 5,6,8 ve 12. voxelde oksijenlenme trendinin diğer örnekleme göre ters istikamette, yani satın almama lehine olduğu gözlenmektedir. Bu davranışı gösteren kişiler satın alma eğiliminde oldukları için, almak istemedikleri bir ürün karşılığında tepki seçimi konusunda önemli bir rolü olduğu düşünülen dmPFC bölgesinde bir artış olması, bu kişilerin satın almama kararlarına

daha çok nöral tepki verdiklerini göstermektedir. Diğer örnekte ise bütçe kısıtı dikkate alındığı için satın almama doğrultusunda bir davranışsal eğilim görülmüştür. Bu durumda satın alınan ürünler seçilirken dorso medial bölgede gözlenen artış bu eğilimin baskılanmasıyla ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.



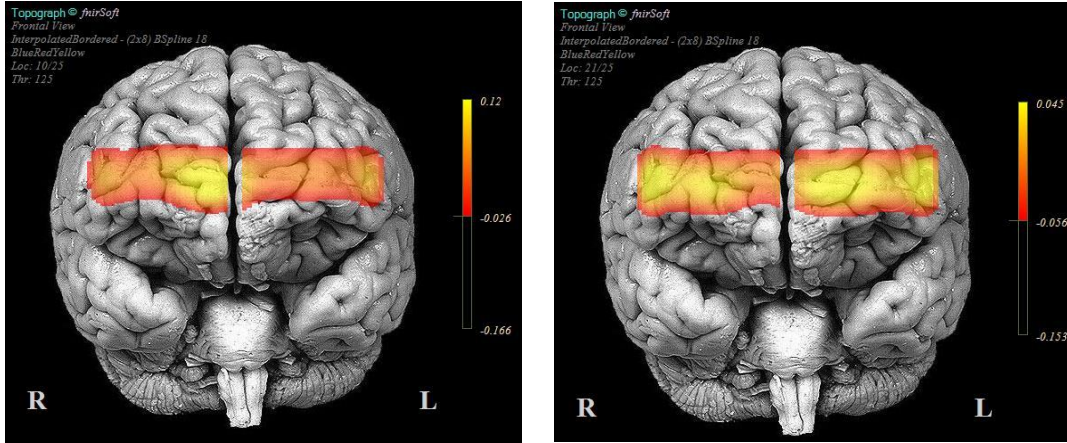
Şekil 11. Satın alma performansı bakımından toplam  $40\pm 20$  TL tutarında alışveriş yapan 11 katılımcının satın alma kararı verdiği 12 saniyelik bölümde prefrontal korteksde gözlenen oksijenlenme miktarındaki ortalama değişim. Açık mavi ve açık turuncu olarak gösterilen bölgeler standart hata miktarlarını göstermektedir.





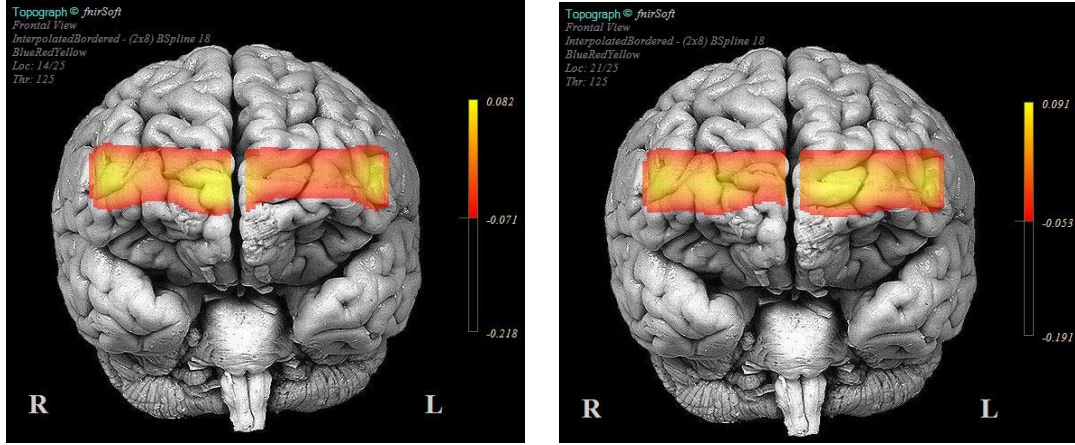
Şekil 12. Satın alma performansı bakımından toplam bütçeyi gözetmeyen 21 katılımcının satın alma kararı verdiği 12 saniyelik bölümde prefrontal korteksde gözlenen oksijenlenme miktarındaki ortalama değişim. Açık mavi ve açık turuncu olarak gösterilen bölgeler standart hata miktarlarını göstermektedir.

Şekil 13 bütçe kısıtlamasını göz önünde bulundurarak satın alma kararı veren alt örneklemin satın alma ve almama kararları verdiği durumlarda fiyat bilgisini gördükten sonra prefrontal korteksde gerçekleşen oksijenlenmenin dağılımını göstermektedir. Bu dağılım 16 kanaldan alınan ortalama oksijenlenme değişimi değerleri üzerine BSpline interpolasyonu uygulanarak voxellerin üzerine denk gelen beyin bölgelerine topografik olarak yerleştirilmesi suretiyle elde edilmiştir (Ayaz vd., 2006). Şekil 11’de verilen grafiklere benzer bir bilgi sunan bu grafiklerde görüldüğü üzere, satın alma kararı verilen durumlarda ağırlıklı olarak sağ frontopolar ve sağ dmPFC bölgelerinde artan bir oksijenlenme gerçekleşmektedir. Satın almama durumunda ise frontopolar ve dmPFC’nin aynı derecede yükselen bir tepki vermediği, blok sonuna doğru ise mevcut tepkinin düşüşe geçtiği, dIPFC bölgelerinde ise aktivasyonun nispeten daha güçlü olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle, satın almama durumunda sol ve sağ dorsolateral bölgelerde diğer bölgelere nazaran daha fazla aktifleşme gözlenmektedir.



Şekil 13. Bütçe kısıtlamını gözeten grupta satın alma (sol) ve satın almama (sağ) durumlarında fiyat bilgisi verildikten sonra gözlenen ortalama oksijenlenmenin prefrontal korteks üzerindeki dağılımı.

Şekil 14 bütçe kısıtlamasına dikkate etmeden satın alma kararı veren alt örneklemin satın alma ve almama kararları verdiği durumlarda fiyat bilgisini gördükten sonra prefrontal korteksde gerçekleşen oksijenlenmenin dağılımını göstermektedir. Bu kişilerdeki aktivasyon dağılımı toplam bütçeye dikkat eden gruba benzerlik göstermekle beraber, bütçeye dikkat eden grubun sağ frontopolar ve sağ dmPFC bölgelerinde ulaşılan maksimum kontrast değeri bakımından diğer gruba kıyasla daha yüksek seviyede bir etki gözlenmiştir.



Şekil 14. Bütçe kısıtını gözetmeyen grupta satın alma (sol) ve satın almama (sağ) durumlarında fiyat bilgisi verildikten sonra gözlenen ortalama oksijenlenmenin prefrontal korteks üzerindeki dağılımı.

Karar verme süreçlerinde medial PFC ve dIPFC bölgeleri arasındaki işlevsel bağlantılık düzeyinde anlamlı değişiklikler olduğu nörobilim ve nöroiktisat literatüründe gözlenmiş bir durumdur. Yapılan deneysel çalışmada fNIRS yöntemiyle bu bölgelere denk gelen voxelde satın alma ve almama durumlarında frontopolar, dorsomedial ve dorsolateral PFC'de ayırd edici tepkiler gözlenmiş olması ve bu bölgeler arasında benzer karar verme süreçlerinde işlevsel bağlantılık ilişkisi gözlenmiş olması, bu kanallardan alınan ölçümleri bir arada ele alan MANOVA ve diskriminant analizi gibi multivariate yöntemlerin kullanımı için elverişli bir durum sunmaktadır. Bağlanırlık ilişkileri ve tek yönlü varyans analizi sonuçları gözetilerek sol ve sağ frontopolar korteks üzerinde yer alan 7,8,9,10, sol dmPFC'de yer alan 5 ve 6, sağ dmPFC'de yer alan 12 ve 13. voxel ile sol dPFC'de yer alan 3 ve sağ dIPFC'de bulunan 14. voxelde gözlenen oksijenlenme ortalamaları üzerinde 2x3 MANOVA testi uygulanmıştır. MANOVA testi hem tüm örneklemede ( $F(10,123)=2.67, p<.01, \text{ Pillai Trace}=.18$ ), hem bütçeyi gözeteni ( $F(10,33)=2.49, p<.05, \text{ Pillai Trace}=.43$ ) hem de gözetmeyen ( $F(1,75)=8.56, p<.01, \text{ Pillai Trace}=.53$ ) örneklemlerde karar türleri bakımından anlamlı bir farklılık olduğuna işaret etmektedir. Etkinin boyutunu ifade eden Pillai Trace değerleri kıyaslandığında alt örneklemlerde elde edilen sonucun daha güçlü olduğu değerlendirilmiştir. Aşama seviyeleri arasında ve aşama ile karar türü etkileşimi için ise anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir.

MANOVA sonucunda karar türleri arasında anlamlı bir farklılık gözlenmesi üzerine Diskriminant Analizi yöntemi kullanılarak ürün, fiyat ve karar verme aşamalarında gözlenen ortalama oksijenlenme değerleri verilen bir durumun satın alma veya almama karar gruplarının hangisinde yer aldığına ne derece kestirilebileceği sınanmıştır. Analiz sonucunda

tüm örneklem, bütçeyi gözetten alt örneklem ve bütçeyi aşan alt örneklem için birer diskriminant fonksiyonunun istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde iki grubu ayırdedebildiği gözlenmiştir. Her grup için hesaplanan ayırdedici fonksiyonların modelde kullanılan voxeller için oluşturduğu katsayılar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Diskriminant analizi sonucunda elde edilen katsayılar ve tahmin oranları

	Bütün Örneklem N=32	Bütçeyi Gözettenler N=11	Bütçeyi Aşanlar N=21
Voxel 3 (sol dIPFC)	,408	-,344	-,462
Voxel 5 (sol dmPFC)	-,944	,081	1,816
Voxel 6 (sol dmPFC)	-,291	,007	,819
Voxel 7 (sol frontopolar)	,492	,025	-2,173
Voxel 8 (sol frontopolar)	,109	,376	,594
Voxel 9 (sağ frontopolar)	,622	,673	,804
Voxel 10 (sağ frontopolar)	,424	,444	,023
Voxel 12 (sağ dmPFC)	-,851	,068	-,066
Voxel 13 (sağ dmPFC)	,263	,136	-,202
Voxel 14 (sağ dIPFC)	,530	-,078	-,901
Wilk Lambda	0.82	0.58	0.48
Chi-Square Testi	$\chi^2(10)=25.56$ p<.01	$\chi^2(10)=22.51$ p<.05	$\chi^2(10)=61.53$ p<.001
Satın Alma Kütle Merkezi	0.461	-0.837	1.036
Satın Almama Kütle Merkezi	-0.461	0.837	-1,036
Sınıflandırma Tahmin Yüzdesi	62%	82%	74%

Tablo 1'deki sonuçlar incelendiğinde tüm örneklem üzerinde diskriminant analizi uygulandığında tahmin gücü %62 olarak belirlenmiştir. Bütçe kısıtı gözetten ve gözetmeyen alt örneklemelerde ise tahmin başarısı %82 ve %74 olarak gerçekleşmiştir. Bütçe kısıtını gözetten ve gözetmeyen alt örneklemelerde ilgili voxellerde farklı eğilimler gözlemlendiği için, bu iki satın alma davranışı arasında bir ayırım yapıldığında ortaya çıkacak modelin beklenen tahmin gücü  $\frac{11}{31} * 0.82 + \frac{21}{31} * 0.74 = 0.79$  olarak öngörülmüştür.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Projede yürütülen çalışma kapsamında, satın alma kararı verilirken prefrontal korteks bölgesinde gerçekleşen beyin hareketleri optik temelli, invazif olmayan, nispeten düşük maliyetli ve portatif bir beyin görüntüleme yöntemi olan fNIRS yöntemiyle izlenmiştir. Bu amaçla, katılımcılardan kontrollü bir deney ortamında bir dizi satın alma kararı vermeleri istenmiş ve bu esnada fNIRS yöntemiyle sinirsel aktiviteye bağlı olarak prefrontal korteks bölgesinde oksi- ve deoksi-hemoglobin miktarlarında gerçekleşen değişim izlenmiştir. Yapılan üç deneysel çalışma sonucunda prefrontal korteksdeki oksijenlenme miktarında gözlenen değişim miktarları incelenerek satın alma kararlarını nörofizyolojik bilgiler üzerinden yordayan bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular ekseninde proje teklif dökümanında yer alan ve aşağıda tekrar edilen şu üç hipotezin sınanması hedeflenmiştir:

- Hipotez 1: İnsanların satın alma ve satın almama kararlarına ilişkin beyin işlevleri arasındaki farklılıkların fNIRS yöntemi ile gözlenebilmesi ve ayrıştırılabilmesi mümkündür.
- Hipotez 2: İnsanların satın almak isteyecekleri ürünleri gördüklerinde prefrontal korteksin dikkat ile ilişkili lateral (yan) bölgelerinde aktivasyon artışının satın almadıkları ürünlere kıyasla daha fazla olması beklenmektedir.
- Hipotez 3: Ürünlerin fiyatlarının sunulduğu andan itibaren meydana gelecek satın alma kararının verilmesi sürecinde prefrontal korteksin medyal (orta) bölgelerindeki aktivasyonun satın almadıkları ürün sunumları esnasındaki aktivasyona kıyasla daha fazla olması beklenmektedir.

Çalışmada fNIRS yöntemiyle elde edilen bulgular fMRI gibi benzer fizyolojik temele dayanan nörogörüntüleme yöntemleriyle elde edilenler bulgulara benzerlik göstermektedir. Satın alma kararları sırasında beklendiği üzere OFC'ye yakın frontopolar bölgede, dmPFC ve yer yer dlPFC bölgelerindeki oksijenlenme trendlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Ancak bu beyin bölgelerinde gözlenen oksijenlenme trendinin yönünü ağırlıklı olarak katılımcıların genel satın alma tutumlarının belirlediği gözlenmiştir. Örneğin, ilk iki deney setinde elde edilen bulgular kıyaslandığında, satın alma ve almama kararları arasında PFC bölgelerinde anlamlı bir farklılık oluşması için gerçek bir satın alma senaryosunun oluşturulmasının gerektiği gözlenmiştir. İkinci deneyde katılımcıların kendilerine sağlanan

bütçeyi kullanarak satın alma kararı vermeleri önemli bir fark yaratmıştır. Üçüncü deney ağırlıklı olarak ikinci deneyde gözlenen trendlerin tekrar gözlenip gözlenmeyeceğini test etmek amacıyla yürütülmüştür. Üçüncü deneyde ikinci deneyden farklı olarak, katılımcıların genel harcama tutumları bakımından bütçe kısıtını gözetmen ve gözetmeyen katılımcılar olarak ikiye ayrıldığı gözlenmiştir. Satın alma kararlarıyla ilgili bölgeler her iki grupta da frontopolar ve dmPFC bölgeleri olmakla beraber, etkinin yönü itibarıyla iki grup arasında temel bir farklılık olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla, fNIR yöntemi kullanılarak satın alma ve almama kararları arasında anlamlı farklılıkların gözlenebilmiş olması, ilk hipotezi destekleyen bulgulara ulaşıldığına işaret etmektedir.

İkinci ve üçüncü hipotezler satın alma kararları sırasında dIPFC ve medyal PFC bölgelerinde gerçekleşmesi beklenen aktifleşme düzeyleriyle ilgilidir. Çalışma kapsamında yapılan 3 deneyde gözlendiği üzere satın alma kararlarında ayırıcı etkilerin gözlenebilmesi için gerçekçi satın alma senaryosu kurgulanması (ör. Katılımcıların gerçekten belirli bir bütçeden para harcaması) ve katılımcıların bütçe kısıtını ne derece gözettiğine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Şekil 11 ve 13’de görüleceği üzere, bütçe kısıtına dikkat ederek kararlarını düzenleyen kişilerin satın alma yaptıkları ürünler satın alınmayanlara kıyasla sol ve sağ frontopolar bölgeler ile sağ dmPFC bölgelerinde artan bir aktifleşmeye neden olmuştur. Ürün ve fiyatın gözlenip satın alma kararının verildiği 12 saniyelik sürede tüm voxellerdeki aktifleşme trendi izlendiğinde, orta bölgelerde ürünün ve fiyatın görülmesiyle artan oksijenlenmenin blok sonuna kadar zayıflamadan sürdüğü, dIPFC bölgelerinde ise aynı oranda bir artış olmadığı görülmektedir. Satın alınmayan ürünlerde ise medyal frontal kortekste gözlenen aktivitenin düşüş trendi gösterdiği ve aktivasyonun dIPFC bölgelerine kayma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bütçeyi önemli bir oranda aşan katılımcılarda ise dmPFC ve frontopolar bölgelerde daha sınırlı sayıda voxelde satın almama kararı lehine benzer bir trend gözlenmiştir.

Bu durum bu iki örnekte gözlenen genel satın alma tutumlarının baskılanması süreciyle açıklanabilir. Bütçeyi gözetmen örnekte yer alan kişilerin davranışsal verileri incelendiğinde genel tutumlarının satın almama yönünde olduğu görülmektedir. Bu tür katılımcıların beğendikleri bir ürünü satın almaya karar verdikleri sırada, subjektif değer yargılarıyla ilişkili frontopolar bölgedeki artışa paralel olarak, normal eğilimleriyle beğenileri arasındaki çatışmanın getirdiği zorlanma dolayısıyla tepki seçimiyle ilişkili dmPFC bölgesinde de bir artış gözlenmektedir. fNIRS yöntemiyle ölçülen medyal PFC ve dIPFC bölgeleri arasındaki

işlevsel bağlantılılığın, karar verme görevleri sırasında zorlanma durumlarına bağlı olarak artabildiği mevcut nörobilim çalışmalarında gözlenmiştir. Dolayısıyla bu bölgelerdeki aktivasyonun belirli bir eşiği aşması sonucunda genel tutumun baskılanarak satın alma tercihinin yapılmış olabileceği değerlendirilmiştir. Bütçe kısıtını gözetmeyen örnekleme ise davranışsal veriler baskın tutumun satın alma yönünde olduğunu göstermektedir. Bu durumda satın almama kararının dmPFC'de daha yoğun aktifleşme oluşturması dominant tepkiyi baskılayıp satın almama sonucunu doğurmuş olabilir. Aynı zamanda bu örnekleme satın alınmayan ürünlerde değer yargısıyla ilişkili frontopolar bölgede bir düşme olduğu da gözlenmiştir. Bu yorum Tablo 1'de verilen diskriminant analizinde dikkate alınan voxellerdeki oksijenlenme değerleriyle model katsayıları arasındaki ilişkiler tarafından da desteklenmektedir.

Gözlenen trendler bir arada ele alındığında frontopolar bölgedeki oksijenlenme artışına dayalı basit bir modelle satın alma davranışının sağlıklı bir şekilde öngörülmesinin pek mümkün olmayacağı gözlenmiştir. Elde edilen bulgular katılımcının genel satın alma eğilimleri ile mevcut ürün-fiyat kombinasyonunun üzerlerinde uyandırdığı etkiyi bir arada değerlendiren bir modelin tahmin gücünün daha yüksek olacağına işaret etmektedir. Bu ayrımın yapıldığı durumda tahmin gücü %60'lardan %80'lere çıkmıştır. Bu sonuçlar hipotez 3'de öngörüldüğü şekilde frontopolar ve medyal PFC bölgelerinde gözlenen aktifleşme artışının satın alma sürecinde önemli bir rol oynadığına işaret etmektedir. Ancak hipotez 2'de ifade edildiği gibi satın alınacak ürüne atfedilen dikkatin artışına bağlı olarak dIPFC bölgesinde beklenildiği şekilde bir artış olmadığı gözlemlendiğinden, sonuçlar hipotez 2'yi desteklememektedir. Hipotez 2'de öngörülen etkinin dIPFC yerine dmPFC bölgesinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Nörobilim literatüründeki mevcut bilgiler ekseninde dIPFC ve frontopolar bölgelere arasında kalan bu bölgenin satın alma kararları üzerinde oynadığı rolünün bütçe kısıtını gözetmen ve gözetmeyen kişilerde baskın olan eğilimin (ör. kısıt gözetmenlerde satın almama, gözetmeyenlerde satın alma baskın eğilim olarak gerçekleşmiştir) baskılanması olduğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar bu bölgelerdeki aktifleşme trendlerinin multivariate bir model üzerinden ele alınması neticesinde daha sağlıklı çıkarımlar yapılabileceğine işaret etmektedir.

İki alt örnekleme arasında gözlenen bu farklılıkların katılımcıların işleyen bellek kapasiteleri arasındaki farklılıklarla da ilişkili olması beklenebilir. Kullanılan deney tasarımında kalan paranın miktarı konusunda katılımcılara herhangi bir bildirimde bulunulmadığı için katılımcıların yaptıkları harcamaların tutarını deney süresince akıllarında tutmaları gerekmektedir. Katılımcıların çoğunluğunun deney sırasında bütçe kısıtını dikkate alırken

tutarlı bir performans gösterememiş oldukları göz önüne alınırsa, bir devam çalışmasında aynı deneyin kalan para bilgisinin görülebildiği (veya zaman zaman hatırlatıldığı) bir arayüz üzerinden tekrar edilmesi bu etkinin kontrol edilmesi bakımından faydalı olacaktır. Gözlenen etkinin sistematik olarak artırılıp azaltılabileceğinin görülebilmesi için ise deney sırasında market fiyatlarının altında ve üstünde fiyatlandırılmış ürünlerin de gösterilmesinde fayda olacağı değerlendirilmiştir. Son olarak, mevcut çalışmada toplanan bazı veriler tahmin modeline henüz dahil edilmemiştir. Örneklemin büyütülmesi üzerine cinsiyet, eğitim durumu gibi demografik bilgilerle marka beğenisi gibi tutum bilgilerinin de satın alma kararı üzerindeki etkileri ele alınabilir. Bu şekilde yapılacak devam çalışmaları satın alma kararları üzerinde etkisi olan bazı ek parametrelerin belirlenmesine yardımcı olacaktır. Belirlenen parametreleri ve voxel aktifleşme trendlerini hiyerarşik olarak değerlendirebilen Bayes veya yapısal denklem (SEM) temelli modellerin geliştirilerek tahmin gücünün daha da artırılması mümkün görülmektedir.

Özetle, elde edilen sonuçlara göre, satın alma davranışının mevcut kullanılan nörogörüntüleme yöntemlerine göre çok daha az maliyetli ve kullanım kolaylığı olan bir yöntem olan fNIRS ile incelenmesi mümkün görünmektedir. Bu projenin bulguları ışığında kısa vadede sektöre yönelik bazı pratik uygulamaların geliştirilmesi öngörülmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular özellikle geleneksel yöntemlerden farklı bir yöntem arayışında olan araştırma ve danışmanlık şirketleri açısından cazip bir alternatif olabilecektir. Bunun yanında, yapılan çalışmanın satın almayla ilgili modern dünyada sıklıkla görülmeye başlanan “oniomania” veya “shopalism” gibi hastalıkların tanı ve tedavisi konusunda da orta ve uzun vadede katkı sağlaması beklenebilir. Proje sonuçları sağlıklı insanların satın alma tepkileriyle ilişkili olduğu için özel popülasyonlar üzerinde gelecekte yapılacak çalışmalar için gerekli altyapının sağlanmasına katkıda bulunması beklenmektedir.



## 6. KAYNAKLAR

Aşçı, O. 2014. "The Role of prefrontal cortex in purchasing decisions: an optical brain imaging study". (Yüksek Lisans Tezi) Ankara: ODTÜ Enformatik Enstitüsü Bilişsel Bilimler Bölümü.

Ayaz, H., Izzetoglu, M., Platek, S. M., Bunce, S., Izzetoglu, K., Pourrezaei, K., & Onaral, B. 2006. "Registering fNIR data to brain surface image using MRI templates", Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2671-2674.

Ayaz, H., Willems, B., Bunce, B., Shewokis, P. A., Izzetoglu, K., Hah, S., Onaral, B. 2010. "Cognitive Workload Assessment of Air Traffic Controllers Using Optical Brain Imaging Sensors". Advances in Understanding Human Performance: Neuroergonomics, Human Factors Design, and Special Populations. Editör: Marek, T., Karwowski, W. & Riceö V, CRC Press Taylor & Francis Group.

Ayaz, H., Shewokis, P. A., Curtin, A., Izzetoglu, M., Izzetoglu, K., & Onaral, B. 2011. "Using MazeSuite and Functional Near Infrared Spectroscopy to Study Learning in Spatial Navigation", Journal of Visual Experiments, (56).

Ayaz, H., Shewokis, P. A., Bunce, S., Izzetoglu, K., Willems, B., & Onaral, B. 2012. "Optical brain monitoring for operator training and mental workload assessment", Neuroimage, 59(1), 36-47.

Ayaz, H., Onaral, B., Izzetoglu, K., Shewokis, P. A., McKendrick, R., & Parasuraman, R. 2013. "Continuous monitoring of brain dynamics with functional near infrared spectroscopy as a tool for neuroergonomic research: Empirical examples and a technological development", Frontiers in Human Neuroscience, 7, 1-13.

Bechara A., Damasio A. 2005. "The Somatic Marker Hypothesis: A Neural Theory of Economic Decision", Games and Economic Behavior, 52, 336-72.

Bunce S., Izzetoglu M., Izzetoglu K., Onaral B., Pourrezaei K. 2006. "Functional Near Infrared Spectroscopy: An Emerging Neuroimaging Modality", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine Special Issue on Clinical Neuroengineering, 25, 54-62.

Chance, B. 1998. "Near-infrared images using continuous, phase-modulated, and pulsed light with quantitation of blood and blood oxygenation", *Annals of New York Academy of Sciences*, 838, 29-45.

Chance, B. 1991. "Optical method", *Annual review of biophysics and biophysical chemistry*, 20(1), 1-30.

Chance, B., Anday, E., Nioka, S., Zhou, S., Hong, L., Worden, K., Thomas, R., 1998. "A novel method for fast imaging of brain function, non-invasively, with light", *Optics Express*, 2(10), 411-423.

Chochon, F., Cohen, L., Moortele, P. F. V. D., & Dehaene, S. 1999. "Differential contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(6), 617-630.

Elghozi, J. L., Laude, D., & Girard, A. 1991. "Effects of respiration on blood pressure and heart rate variability in humans", *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 18(11), 735-742.

Falk E.B., Berkman E.T., Lieberman M.D. 2012. "From Neural Responses to Population Behavior: Neural Focus Group Predicts Population-Level Media Effects", *Psychological Science*, 23, 439-45.

Glimcher, P. W., & Fehr, E. 2014. *Neuroeconomics: Decision making and the brain*. Londra: Academic Press.

Holper, L., ten Brincke, R. H., Wolf, M., & Murphy, R. O. 2014. "fNIRS derived hemodynamic signals and electrodermal responses in a sequential risk-taking task", *Brain Research*, 1557, 141-154.

Irani F., Platek S.M., Bunce S., Ruocco A.C., Chute D., 2007. "Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS): An Emerging Neuroimaging Technology with Important Applications for the Study of Brain Disorders", *The Clinical Neuropsychologist*, 21, 9-37.

Izzetoglu, M., Bunce, S., Izzetoglu, K., Onaral, B., Pourrezaei, K. 2007. "Functional Brain Imaging Using Near Infrared Technology for Cognitive Activity Assessment", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Special issue on on the Role of Optical Imaging in Augmented Cognition, 26(4),38-46.

Jobsis, F. F. 1977. "Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters", Science, 198(4323), 1264-1267.

Kopton, I. M., Kenning, P. 2014. "Near-infrared spectroscopy (NIRS) as a new tool for neuroeconomic research", Frontiers in Human Neuroscience, 8(549), 1-13.

Knutson, B., Westdorp, A., Kaiser, E., & Hommer, D. 2000. "fMRI visualization of brain activity during a monetary incentive delay task", Neuroimage, 12(1), 20-27.

Knutson, B., Fong, G. W., Bennett, S. M., Adams, C. M., & Hommer, D. 2003. "A region of mesial prefrontal cortex tracks monetarily rewarding outcomes: characterization with rapid event-related fMRI", Neuroimage, 18(2), 263-272.

Knutson, B., Taylor, J., Kaufman, M., Peterson, R., & Glover, G. 2005. "Distributed neural representation of expected value", The Journal of Neuroscience, 25(19), 4806-4812.

Knutson, B., Rick, S., Wimmer, G. E., Prelec, D., Loewenstein, G. 2007. "Neural Predictors of Purchases", Neuron, 53, 147-56.

Luu, S., & Chau, T. 2009. "Decoding subjective preference from single-trial near-infrared spectroscopy signals", J. Neural Eng, 6, 1-8.

Norman, K.A., Polyn, S.M., Detre, G.J., Haxby, J.V. 2006. "Beyond Mind-Reading: Multi-Voxel Pattern Analysis of fMRI Data", Trends in Cognitive Sciences, 10, 424-30.

Ogawa, A., Onozaki, T., Mizuno, T., Asamizuya, T., Ueno, K., Cheng, K., & Iriki, A. 2014. "Neural basis of economic bubble behavior", Neuroscience, 265, 37-47.

Pochon, J.B., Riis J., Sanfey A.G., Nystrom L.E., Cohen J.D. 2008. "Functional imaging of decision conflict", Journal of Neuroscience (28):3468-3473.

Politzer, P. 2008. *Neuroeconomics: A guide to the new science of making choices*. Oxford: Oxford University Press.

Rangel, A., & Clithero, J. 2014. "The computation of stimulus values in simple choice". *Neuroeconomics: decision making and the brain*. Editör: Glimcher, P. & Fehr, E. Londra: Academic Press.

Schaefer M., Rotte M. 2007. "Favorite Brands As Cultural Objects Modulate Reward Circuit", *NeuroReport*, 18, 141-5.

Schultz, W. 2006. "Behavioral theories and the neurophysiology of reward", *Annual Review of Psychology*, 57, 87-115.

Schwarz N. 2004. Metacognitive Experiences in Consumer Judgment and Decision Making, *Journal of Consumer Psychology*, 14, 332-48.

Shimokawa T., Misawa T., Suzuki K. 2008. "Neural Representation of Preference Relationships", *NeuroReport*, 19, 1557-61.

Shimokawa, T., Suzuki, K., Misawa, T., & Miyagawa, K. 2009. "Predictability of investment behavior from brain information measured by functional near-infrared spectroscopy: a bayesian neural network model". *Neuroscience*, 161(2), 347-358.

Shimokawa, T., Kinoshita, K., Miyagawa, K., and Misawa, T. 2012. "A brain information-aided intelligent investment system", *Decision Support Systems*, 54, 336–344.

Singh-Curry, V., & Husain, M. 2009. "The functional role of the inferior parietal lobe in the dorsal and ventral stream dichotomy", *Neuropsychologia*, 47(6), 1434-1448.

Smith, D. V., & Huettel, S. A. 2010. "Decision neuroscience: Neuroeconomics", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(6), 854-871.

Strangman, G., Boas, D. A., & Sutton, J. P. 2002. "Non-invasive neuroimaging using near-infrared light", *Biological Psychiatry*, 52(7), 679-693.

Tobler, P. N., Christopoulos, G. I., O'Doherty, J. P., Dolan, R. J., & Schultz, W. 2009. "Risk-dependent reward value signal in human prefrontal cortex", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(17), 7185-7190.

Venkatraman, V., Rosati, A.G., Taren, A.A., Huettel, S.A. 2009. "Resolving response, decision, and strategic control: Evidence for a functional topography in dorsomedial prefrontal cortex", *Journal of Neuroscience* (29), 13158–13164.

Villringer, A., & Chance, B. (1997). "Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function", *Trends in Neuroscience*, 20(10), 435-442.

### EK 1. Ürün Kullanım Sıklığı Anketi

Lütfen aşağıda gördüğünüz ürünleri kullanma sıklığınıza göre tablonun ikinci satırındaki boşluklardan birine "x" işareti koyarak değerlendiriniz:



1 (Hiç tüketmem)	2	3 (Orta sıklıkta tüketirim)	4	5 (Çok tüketirim)

### Ürün Fiyatı Değerlendirme Anketi

Lütfen aşağıdaki ürünler için uygun gördüğünüz satış fiyatlarını ilgili boşluklara yazınız



Uygun Satış Fiyatı:

## Ek 2. Ürün Listesi

1	Coca Cola
2	Pepsi Cola
3	Cola Turka
4	Le Cola
5	Fanta
6	Yedigün
7	Pınar Süt
8	Sütaş Süt
9	Yörsan Süt
10	SEK Süt
11	Ülker İçim Süt
12	Danone Süt
13	Bahçivan Beyaz Peynir
14	Pınar Beyaz Peynir
15	Sütaş Beyaz Peynir
16	Tahsildaroğlu Beyaz Peynir
17	İçim Beyaz Peynir
18	Bahçivan Kaşar Peynir
19	Pınar Kaşar Peyniri
20	Sütaş Kaşar Peyniri
21	Tahsildaroğlu Kaşar Peyniri
22	İçim Kaşar Peyniri
23	Yörsan Kaşar Peyniri
24	Pınar Yoğurt
25	Sütaş Yoğurt
26	İçim Yoğurt

27	Danone Yoğurt
28	Yörsan Yoğurt
29	SEK Yoğurt
30	Bingo Deterjan
31	OMO Deterjan
32	Rinso Deterjan
33	Ariel Deterjan
34	Ariel Leke Çıkarıcı
35	ACE Deterjan
36	ALO Deterjan
37	Persil Deterjan
38	Calgonit Deterjan
39	Pril Deterjan
40	Cif Deterjan
41	Domestos
42	Yumoş
43	Vernel
44	Fairy Deterjan
45	Lay's
46	Doritos
47	Ruffles
48	Cheetos
49	Çerezza
50	Patos
51	Cipso
52	Rexona deodorant

53	Vaseline
54	Axe Deodorant
55	Dove
56	Arko Nem nemledirici
57	Nivea
58	Duru
59	Fax Sıvı Sabun
60	8 x 4
61	Signal Diş Macunu
62	İpana Diş Macunu
63	Oral-B Diş Macunu
64	Elidor Şampuan
65	Clear
66	Blendax
67	Pantene
68	Head and Shoulders
69	Rejoice
70	Dove sabun
71	Arko Nem sabun
72	Duru vücut sabunu
73	Fax sabun
74	Detan Sinek İlacı
75	Raid Sinek İlacı
76	Cappy meyve suyu
77	Dimes meyve Suyu
78	Tamek meyve suyu

### Ek 3. Ürün Görselleri









































	 1,45 TL		 1,45 TL
	 1,35 TL		 0,74 TL
	 1,45 TL		 1,45 TL
	 1,6 TL		 1,49 TL
	 1,3 TL		 1,15 TL

	 1,4 TL		 1,6 TL
	 5,95 TL		 8,45 TL
	 7,45 TL		 9,95 TL
	 6,75 TL		 11,45 TL
	 12,99 TL		 11,25 TL



	 9,35 TL		 10,45 TL
	 9,95 TL		 2,1 TL
	 1,9 TL		 2,1 TL
	 2 TL		 2 TL
	 1,69 TL		 6,5TL

	 9,9TL		 6,95TL
	 8,9TL		 15,25TL
	 6,75TL		 7,90TL
	 6,90TL		 11,9TL
	 9,75TL		 2,45TL

	 2,70TL		 3,25TL
	 2,75TL		 2,75TL
	 1,95TL		 1,5TL
	 1,5TL		 1TL
	 1TL		 2TL
	 2TL		 3,9TL
	 3,5TL		 6,4TL
	 11,9TL		 10,5TL
	 11,9TL		 7,95TL
	 7,9TL		 4,5TL

	 1,35TL		 1,35TL
	 11TL		 5,25TL
	 7,9TL		 5,9TL
	 7,9TL		 8,9TL
	 8,9TL		 1,75TL

	 1,8TL		 1,94TL
	 2,95TL		 9,75TL
	 12,25TL		 1,6TL
	 1,35TL		 1,6TL
Satın alırım	Satın almam	+	

**TÜBİTAK  
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No:</b> 113E311
<b>Proje Başlığı:</b> Satın Alma Davranışının Beyin Ön Bölgesindeki İzdüşümlerinin fNIRS Yöntemiyle İncelenmesi
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:</b> Y.Doç.Dr. Murat Perit Çakır (yürütücü), Deniz Zengin, Burcu Verim, Tuna Çakar (bursiyer araştırmacı), Onur Aşçı (araştırmacı), Yener Girişken (danışman)
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, Bilişsel Bilimler Bölümü. Üniversiteler Mah. Dumlupınar Bulv. No:1 06800 Çankaya, Ankara
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b> ThinkNeuro, Morbasan Sok. Koza İş Mrkz. B Blok K.4 Balmumcu 34349 Beşiktaş, İstanbul
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> 15-10-2013 ve 15-10-2014
<b>Öz</b> <p>Bu araştırma projesi satın alma davranışlarının beyin ön bölgesindeki izdüşümlerinin optik nörogörüntüleme (fNIR) cihazı kullanılarak tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar kontrollü bir deney ortamında gerçek para harcayarak bir dizi market ürünü üzerinde satın alma kararı verirken ön-beyin bölgelerindeki oksijenlenme miktarındaki değişim fNIRS yöntemiyle izlenmiştir. Elde edilen bulgular fNIRS'den elde edilen nörofizyolojik hareketler üzerinden tahmin gücü kabul edilebilir bir satın alma modelinin oluşturulmasının mümkün olduğuna işaret etmektedir.</p>
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Nöroiktisat, satın alma davranışı, karar verme süreçleri, optik nörogörüntüleme, fNIRS
<b>Fikri Ürün Bildirim Formu</b> Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> <small>Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.</small>
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b> <p>ÇAKIR, M.P., Çakar, T., Girişken, Y. Neural Correlates of Purchasing Behavior in the Prefrontal Cortex: An Optical Brain Imaging Study. In Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Pasadena, CA, USA, (2015).</p>
<b>Ekte Bulunan "ARDEB Başarı Öyküsü Formu", "Kazanımlar" Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşıdığını Düşünüyorsanız "ARDEB Başarı Öyküsü Formu"nu doldurunuz.</b>

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. MURAT PERİT ÇAKIR
Proje No:	113E311
Proje Başlığı:	Satın Alma Davranışının Beyin Ön Bölgesindeki İzdüşümlerinin Fnrıs Yöntemiyle İncelenmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü. ENFORMATİK ENSTİTÜSÜ BİLİŞSEL BİLİMLER PROGRAMI
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/10/2013 - 15/10/2014
Onaylanan Bütçe:	22900.0
Harcanan Bütçe:	18078.2

TÜBİTAK

Öz:	<p>Son dönemde nörobilim yöntemlerinde yaşanan gelişmeler satın alma kararı verme süreçleri konusunda yeni araştırma sorularını ortaya çıkarmıştır. Klasik teorilerde satın alma davranışının ağırlıklı olarak tercih ve fiyat gibi davranışsal değişkenlerle analiz edilmesine karşılık nöroiktisat araştırmaları bu süreçlerin altında yatan nörofizyolojik etkileri araştırarak mevcut modellere katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu alanda ağırlıklı olarak fMRI yöntemiyle yürütülen çalışmalarda katılımcıların satın alıp-almama kararı verdikleri durumlarda ventro-medial prefrontal korteks (vmPFC), orbito-frontal/fronto-polar korteks, dorso-medial prefrontal korteks (dmPFC), dorsolateral prefrontal korteks (dlPFC), nucleus accumbens, ventral tegmental alan ve ventral striatum gibi bölgeleri içeren geniş nöral sistemlerin karar verme sürecinde rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu bölgeler arasında yapılan işlevsel ve yapısal bağlantı çalışmaları sayesinde satın alma davranışının nörofizyolojik verilere dayanarak daha objektif bir şekilde modellenmesinin yolu açılmıştır.</p> <p>Mevcut çalışmalar ağırlıklı olarak, uzamsal çözünürlük bakımından sunduğu önemli avantajlara karşın, pahalı ve pratik uygulama yapma konusunda önemli kısıtları olan fMRI gibi yöntemlere dayanmaktadır. Projede yürütülen çalışma kapsamında, satın alma kararı verilirken prefrontal korteks bölgesinde gerçekleşen beyin hareketleri optik temelli, invazif olmayan, nispeten düşük maliyetli ve portatif bir beyin görüntüleme yöntemi olan işlevsel kızıl-ötesi tayfölçümü (fNIRS) yöntemiyle izlenmiştir. Bu amaçla, katılımcılardan kontrollü bir deney ortamında bir dizi satın alma kararı vermeleri istenmiş ve bu esnada fNIRS yöntemiyle sinirsel aktiviteye bağlı olarak prefrontal korteks bölgesinde oksijen- ve deoksi-hemoglobin miktarlarında gerçekleşen değişim izlenmiştir. Yapılan üç deneysel çalışma sonucunda fNIRS yönteminin nöroiktisat çalışmaları için sunduğu potansiyelin değerlendirilmesi ve prefrontal korteksdeki oksijenleşme miktarında gözlenen değişimlere bağlı olarak satın alma kararlarını nörofizyolojik bilgiler üzerinden yordayan bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.</p> <p>Çalışmada fNIRS yöntemiyle elde edilen bulguların fMRI gibi benzer fizyolojik temele dayanan nörogörüntüleme yöntemleriyle elde edilenler bulgulara benzer olduğu gözlenmiştir. Satın alma kararları sırasında beklendiği üzere OFC'ye yakın frontopolar bölgede, dmPFC ve dlPFC bölgelerindeki oksijenleşme trendlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Ancak bu beyin bölgelerinde gözlenen oksijenleşme trendinin yönünü ağırlıklı olarak katılımcıların genel satın alma tutumlarının belirlediği gözlenmiştir. Örneğin, ilk iki deney setinde elde edilen bulgular kıyaslandığında, satın alma ve almama kararları arasında PFC bölgelerinde anlamlı bir farklılık oluşması için gerçek bir satın alma senaryosunun oluşturulmasının gerektiği gözlenmiştir. Üçüncü deney ağırlıklı olarak ikinci deneyde gözlenen trendlerin tekrar gözlenip gözlenmeyeceğini test etmek amacıyla yürütülmüştür. Üçüncü deneyde ikinci deneyden farklı olarak, katılımcıların genel harcama tutumları bakımından bütçe kısıtını gözetmen ve gözetmeyen katılımcılar olarak ikiye ayrıldığı gözlenmiştir. Satın alma kararlarıyla ilgili bölgeler her iki grupta da frontopolar ve dmPFC bölgeleri olmakla beraber, etkinin yönü itibarıyla iki grup arasında temel bir farklılık olduğu gözlenmiştir. Bu etkenleri göz önünde bulundurarak fNIRS verileri üzerinden satın alma/almama kararlarını tahmin etmeye çalışan bir diskriminant analiz modeliyle %80 düzeyinde tahmin başarısı elde edilmiştir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Nöroiktisat, satın alma davranışı, karar verme süreçleri, optik nörogörüntüleme, fNIRS
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır