

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BEYİNDE DELTA, TETA VE ALFA
OSİLASYON YANITLARININ IŞIĞINDA
ÖĞRENME SÜREÇLERİ**

DR. ADİLE ÖNİZ

BİYOFİZİK DOKTORA TEZİ

İZMİR-2006

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BEYİNDE DELTA, TETA VE ALFA
OSİLASYON YANITLARININ IŞIĞINDA
ÖĞRENME SÜREÇLERİ**

BİYOFİZİK DOKTORA TEZİ

DR. ADİLE ÖNİZ

Danışman Öğretim Üyesi: PROF. DR. EROL BAŞAR

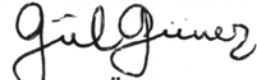
Bu tez DEÜ AFS- 2005.KB.SAG.069, AFS-03.KB.SAĞ.064 Projeleri ve TÜBİTAK ÇG3 tarafından desteklenmiştir.

“Beyinde Delta, Teta ve Alfa Osilasyon Yanıtlarının Işığında Öğrenme Süreçleri” konulu tezi ile,

Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik A.D. doktora öğrencisi Adile Öniz, 20 Ekim 2006 tarihinde tez savunma sınavına girmiş ve başarılı bulunmuştur.



Prof. Dr. Erol BAŞAR



Prof. Dr. Gül GÜNER

Prof. Dr. Köksal ALPTEKİN



Doç.Dr. Murat ÖZGÖREN

Doç.Dr. Bedriye Elvan BİLGİN



TEŞEKKÜR

Değerli eğitimci Emre Kongar büyük bir alçakgönüllülükle hala bir öğrenci olduğunu, her gün yeni şeyler öğrenmeye devam ettiğini belirtir. Aslında ülkemizde sıklıkla fakülte ve yüksekokulların bitmesi ile bittiğine inanılan eğitimin, ömür boyu süren bir süreç olduğunu çok güzel vurgular.

Doktora eğitim sürecim bana çeşitli bilimsel değerlerin ve tavırların aktarıldığı, dünyayı ve kendimi keşfetmeme, bağımsız düşünme ve çalışma yetisi edinmeme ve kısa vadeli yarar gözetmeden bilim ve araştırma yapabilmeme olanak sağlayan, bilim yapmanın bir meslek değil yaşam biçimi olduğunu gösteren, bana dürüst ve yaratıcı kişilerin tek rakibinin ve önündeki engelin kendisi olduğunu, aşılması gereken çıtanın başkaları değil kendimiz olduğunu da öğreten, kişisel gelişimim adına bir çok şey kazandığım eşsiz bir süreçti. Bu süreci yanında eğitim görmekten onur duyduğum, kendisinden çok şey öğrendiğim değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Erol BAŞAR'a borçluyum. Bana bilimin ve yanında görerek-yaşayarak öğrenmenin kapılarını açması ve her alanda desteklemesi nedeniyle çok teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca gerek eğitimimde gerekse tez hazırlama sürecimde hiçbir desteği benden esirgemeyen ve Bremen Üniversitesi Psikofizyoloji Enstitüsünün tüm olanaklarını sınırsız açan Prof. Dr. Canan BAŞAR-EROĞLU'na ve ekibine sonsuz teşekkür etmek isterim. Biyofizik AD da çalışmaya başladığım ilk günden itibaren her konuda destekleri ile hem doktora eğitimime hem de tezime emeği geçen Doç. Dr. Murat ÖZGÖREN'e, tezimde kullandığım denemelerin hazırlığında beni destekleyen doktora arkadaşlarım Onur BAYAZIT, Özlem YILMAZ ve Sibel KOCAASLAN'a, bu süreç içinde birlikte doktora yaptığım, birlikte çalışmaktan, etkileşimlerinden her zaman çok yararlandığım; Prof. Dr. Görsev YENER, Prof. Dr. Ayşegül ÖZERDEM, Dr. Bahar GÜNTEKİN, Uz. Dr. Nuri KARABAY, Doç. Dr. Necati GÖKMEN, Burcu AYDIN'a, bölümümüzde her zaman sessiz sedasız beni destekleyen ve çalışmalarım esnasında hayatımı kolaylaştıran bölüm sekreterimiz Canan YEĞİN'e, bölümümüz çalışanı Mehmet ORAL'a çok teşekkür ederim.

SBE Müdürü Prof. Dr. Gül GÜNER'e ve tüm SBE çalışanlarına, 2005.KB.SAG.069 nolu tez projemi destekleyen Rektörlüğümüze ve çalışanlarına; doktora öğrenciliğim süresince göstermiş oldukları destekleyici tavırları ve emekleri nedeniyle teşekkürü bir borç bilirim.

İstatistik eğitimime emeği geçen Prof. Dr. Gazanfer Aksakoğlu'na ve her zaman danışabilmem için kapılarını bana açık tutan Dr. Pembe Keskinoglu'na çok teşekkür ederim.

Son olarak da, doktoramda beni anlayışla destekleyen hayat arkadaşıma ve kızıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR VE İNGİLİZCE KARŞILIKLAR.....	1
ÖZET.....	2
SUMMARY.....	4
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	6
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1 Beyin Araştırmalarına Tarihsel Bakış.....	8
2.2 Beyin, Bilişsel İşlevler ve Öğrenme.....	9
2.3 Beyin Dinamiğinin Ölçülmesi.....	14
2.3.1 Elektroensefalografi (EEG)	15
2.3.1.1 EEGnin Klasik Frekans Bandları:	16
2.3.2 Uyarılma Potansiyelleri (UP) ve Olay- İlişkili Potansiyeller (OİP).....	16
2.3.2.1 Olay İlişkili Potansiyel Bileşenleri	17
2.3.3 Beyin Araştırmalarında Osilasyonel Yaklaşım	19
2.3.3.1 Olay İlişkili Osilasyon Tepkileri	21
2.3.3.1.1 Delta Frekans Bandı	21
2.3.3.1.2 Teta Frekans Bandı	22
2.3.3.1.3 Alfa Frekans Bandı	23
2.3.3.1.4 Beta Frekans Bandı.....	25
2.3.3.1.5 Gamma Frekans Bandı	26
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER	28
3.1 Çalışma Evreni.....	28
3.2 Ölçüm Odası Özellikleri ve Ölçümün Gerçekleştirilmesi.....	29
3.3 Paradigmaların Uygulanması.....	32
3.3.1 “Yüz Tanıma” Paradigması	32
3.3.2 Seyrek Uyarın Paradigması.....	34
3.4 Analiz	36
3.4.1 Verilerin İşlenmesi	36

3.4.2 Genlik Frekans Karakteristikleri (Amplitude Frequency Characteristics = AFC).....	39
3.4.3 Sayısal Filtreleme	40
3.4.4 İstatistiksel Analiz	43
4. BULGULAR	44
4.1 Basit Uyarandan Kompleks Uyarana Beyinde Oluşan Osilasyonel Yanıtların Gösterilmesi (Çoklu Paradigma).....	44
4.1.1 Uyarılara Karşı Yanıtların Topoğrafyası	45
4.1.1.1 Görsel hedef uyarana (basit ışık) karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar	45
4.1.1.2 İşitsel hedef uyarana karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar	51
4.1.1.3 Yüz uyarılarına karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	57
4.1.2 Çoklu Paradigmalar ve Farklılıkları	64
4.2 Öğrenme Stratejileri.....	66
4.2.1 Uygulanma sıralarına göre uyarıların beklenti (anticipation) ile ilgili durumu	66
4.2.2 Hedef-olmayan(standart) uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi.....	74
4.2.3 Hedef uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi	81
4.2.4 Bilinmeyen yüzü öğrenirken beyinde oluşan değişiklikler	88
5. TARTIŞMA.....	92
5.1 Delta Frekans Bandındaki Değişiklikler.....	93
5.2 Teta Frekans Bandındaki Değişiklikler	94
5.3 Alfa Frekans Bandındaki Değişiklikler	100
5.4 Plastisite ve Deney Esnasında Dinamik Değişiklikler	102
5.5 Deneysel Kurulumun Öğrenmeye Etkisi.....	103
5.6 Öğrenme Süreçlerinde Osilasyonlar ve Deneysel Model Yaklaşımı	103
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	104
7. KAYNAKLAR.....	106
EKLER	121
Etik Kurul Onayı.....	121
Tezden Yapılmış Bildiri Listesi	122

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1 Bellek Akış Şeması-I.....	12
Şekil 2 Bellek Akış Şeması-II	13
Şekil 3 Olaya-ilişkili potansiyel bileşenleri N100, N200, P200 ve P300 ün gösterilmesi	18
Şekil 4 Kayıt Donanımı	30
Şekil 5 Jasper 10/20 sistemine göre elektrot yerleşimi	31
Şekil 6 Yüz uyaran fotoğrafları	33
Şekil 7 Seyrek uyaran paradigmasında uyaranların verilme dizilimi.....	35
Şekil 8 EEG çekimlerinde gürültülerin (artifaktların) temizlenmesi koşulları.....	38
Şekil 9 Tipik bir bireyin bilinmeyen yüze karşı AFC verisi.	42
Şekil 10 Görsel uyaranlara karşı 0.5-48 Hz geniş frekans aralığında (filtrelenmemiş) beynin verdiği EEG-UP –OİP yanıtları.....	47
Şekil 11 Görsel hedef uyarana karşı delta (0.5-3.5 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	48
Şekil 12 Görsel hedef uyarana karşı teta (4-7 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	49
Şekil 13 Görsel hedef uyarana karşı alfa (8-13 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	50
Şekil 14 İşitsel hedef uyarana karşı 0.5-48 Hz frekans geniş frekans aralığında (filtrelenmemiş) beynin verdiği yanıtlar.....	53
Şekil 15 İşitsel hedef uyarana karşı delta (0.5-3.5 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	54
Şekil 16 İşitsel hedef uyarana karşı teta (4-7 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	55
Şekil 17 İşitsel hedef uyarana karşı alfa (8-13 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	56
Şekil 18 Yüz uyaranlarına karşı beynin verdiği delta frekans bandındaki yanıtlar; mavi: bilinmeyen yüz, kırmızı: büyükanne	61
Şekil 19 Yüz uyaranlarına karşı beynin verdiği teta frekans bandındaki yanıtlar; mavi: bilinmeyen yüz uyarını, kırmızı: büyükanne uyarını.....	62
Şekil 20 Yüz uyaranlarına karşı beynin verdiği alfa frekans bandındaki yanıtlar; mavi: bilinmeyen yüz, kırmızı: büyükanne uyarını	63

Şekil 21 Farklı hedef uyaranlara karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar.....	65
Şekil 22 Görsel hedef uyaranı bekleme durumunda beynin delta frekans bandında verdiği yanıtlar.....	68
Şekil 23 Görsel hedef uyaranı bekleme durumunda beynin teta frekans bandında verdiği yanıtlar.....	69
Şekil 24 Görsel hedef uyaranı bekleme durumunda beynin alfa frekans bandında verdiği yanıtlar.....	70
Şekil 25 İşitsel hedef uyaranı bekleme durumunda beynin delta frekans bandında verdiği yanıtlar.....	71
Şekil 26 İşitsel hedef uyaranı bekleme durumunda beynin teta frekans bandında verdiği yanıtlar.....	72
Şekil 27 İşitsel hedef uyaranı bekleme durumunda beynin alfa frekans bandında verdiği yanıtlar.....	73
Şekil 28 Delta frekans bandında, görsel hedef-olmayan uyaranın deneysel süreç içindeki gelişimi	75
Şekil 29 Teta frekans bandında, görsel hedef-olmayan uyaranın deneysel süreç içindeki gelişimi	76
Şekil 30 Alfa frekans bandında, görsel hedef-olmayan uyaranın deneysel süreç içindeki gelişimi	77
Şekil 31 Delta frekans bandında, işitsel hedef-olmayan uyaranın deneysel süreç içindeki gelişimi	78
Şekil 32 Teta frekans bandında, işitsel hedef-olmayan uyaranın deneysel süreç içindeki gelişimi	79
Şekil 33 Alfa frekans bandında, işitsel hedef-olmayan uyaranın deneysel süreç içindeki gelişimi	80
Şekil 34 Delta frekans bandında, görsel hedef uyaranın deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar	82
Şekil 35 Teta frekans bandında, görsel hedef uyaranın deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar	83
Şekil 36 Alfa frekans bandında, görsel hedef uyaranın deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar	84

Şekil 37 Delta frekans bandında, işitsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar	85
Şekil 38 Teta frekans bandında, işitsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar	86
Şekil 39 Alfa frekans bandında, işitsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar	87
Şekil 40 6-8 Hz frekans bandında tüm kafada deneme başı ve sonu yanıtları	89
Şekil 41 Deney başı ve sonunda sağ frontal ve sağ oksipital yüz yanıtları	90

TABLO DİZİNİ

Tablo 1 Deneylere katılan bireylerin bilgileri	29
Tablo 2 ‘Görsel OİP Hedef uyarıcısı’na karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri.....	45
Tablo 3 ‘İşitsel OİP Hedef uyarıcısı’na karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri.....	51
Tablo 4 Büyükanne uyarıcısına karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri	58
Tablo 5 ‘Bilinmeyen Yüz’ uyarıcısına karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri.....	59
Tablo 6 Yedi elektrot bölgesinde, istatistik ve yanıt açısından bireysel farklılıklar	91

KISALTMALAR ve İNGİLİZCE KARŞILIKLAR

AFC: Amplitude frequency characteristics

EEG: Electroencephalography

EP: Evoked potentials

ERO: Event-related oscillations

ERP: Event-related potentials

LFP: (Local Field Potentials) Lokal alan potansiyeli

LTMS: Long Term Memory System kodlama

ms: Milisaniye

OİO: Olay-ilişkili osilasyonlar

OİP: Olay-ilişkili potansiyeller

UP: Uyarılma potansiyelleri

μV: Mikrovolt

Algısal öğrenme: Perceptual learning

Anısal bellek: Episodic memory

Anlamsal bellek: Semantic memory

Ardışık tek kayıtlar: Single sweep

Atlanılan: Omitted

Beklenti: Expectation, anticipation

Belirsiz: Ambiguous

Buyruksal: Imperative

Geri çağırma: Retrieval

Hedef: Target

Kalıcı: Persistent

Kodlama: Encoding

Koşullandırıcı: Conditioning

Ödev, görev: Task

Prosedürel öğrenme: Procedural learning

Seyrek uyaran : Oddball

Süpürüm: Sweep

Uyumsuzluk: Mismatch

Seyrek Uyaran Paradigması: Oddball

ÖZET

BEYİNDE DELTA, TETA ve ALFA OSİLASYON YANITLARININ IŞIĞINDA ÖĞRENME SÜREÇLERİ

Dr. Adile Öniz

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik AD,
Beyin Dinamiği Multidisipliner Araştırma ve Uygulama Merkezi, Balçova, İZMİR, 35340,
adile.oniz@deu.edu.tr

Öğrenme, bilişsel süreçler içerisinde beynin önde gelen temel işlevlerinden birisidir. Bu tezde, farklı paradigmlar kullanılarak öğrenme süreçleri ve stratejileri elektrofizyolojik yöntemler ile ele alınmıştır.

Amaç: Tezin hazırlanmasında amaçlar;

- Bir görev altındayken beynin farklı uyaranlara verdiği yanıtların incelenmesi,
- Uyarıların ve verilen görevin öğrenilmesi sırasında uyarıların alınan yanıtlardaki değişikliklerin ölçülmesi,
- Öğrenme stratejilerinin belirlenmesi ve ölçüm kriterleri geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılabilmesi,
- Uzun süreli hedef olarak, patolojilerde öğrenme durumunun elektrofizyolojik yöntemlerle ölçülebilir hale gelmesi olarak belirlenmiştir.

Yöntem: 2003-2006 yılları arasında, 26 Yüz Tanıma deneyi kaydı, 20 görsel, 20 işitsel seyrek uyaran paradigması deney kayıtları, sağlıklı gönüllüden alınmıştır. Bu EEG kayıtları, beynin 13 elektrot alanında, öncelikle alt üç frekans (0.5 Hz–13 Hz) bandında (delta, teta, alfa) incelenmiştir. Bu paradigmalarda değişik öğrenme stratejileri araştırılmıştır. Öğrenmenin araştırılmasında, basit uyarandan karmaşık (kompleks) uyarana beyin yanıtları, işitsel ve görsel modalitelerde hedef/hedef-olmayan uyaran farklılıkları ve bu uyarıların deney sürecindeki değişimleri incelenmiştir.

Bulgular: Hem uyarıların topolojisi açısından, hem de öğrenme sürecinde beyinde oluşan değişiklikler açısından bulgular elde edilmiştir. Farklı uyarıların, beynin farklı

bölgelerinde, birçok frekans bandında yarattığı dinamik etkiler gözlenmiştir. Örneğin, delta yanıtları (0.5-3.5 Hz), basit ışık ve ses hedef uyaranlarına karşı frontal bölgede, yüz uyaranlarına karşı oksipital bölgede etkin gözlenmiştir. Seyrek uyaran paradigmaları uygulamalarında, uyaranlara karşı (hedef/hedef olmayan) kayıtların son aşamasında ilk aşamasına göre delta yanıtları daha düşük bulunmuştur. Teta (4–7 Hz) yanıtları, özellikle bilinmeyen yüzün öğrenilmesi sürecinde, sağ frontal ve sol oksipital bölgelerde deneme sonunda başlangıç safhalarındaki yanıt genliklerine göre artış göstermektedir. Tersine, görsel-seyrek uyaran paradigmasında, posterior bölgelerde hedef olmayan uyarana karşı alfa (8-13 Hz) bandındaki yanıtlar, deneme sonunda başına göre daha düşük genlikte bulunmuştur.

Sonuç: Bulgulara göre, aynı paradigma içinde kullanılan farklı uyaranlara beyin farklı yanıtlar vermektedir. Değişik frekanslarda; zamansal ve topolojik olarak farklılaşmış yanıtlar izlenmiştir. Paradigmalarda uyaranın türüne ve kullanılan paradigmanın içeriğine göre, uyaranların öğrenilmesi sürecinde değişik korteks bölgelerinde ve delta, teta, alfa frekans bandlarında değişimler gösterilmiştir. Bütün bu sonuçlar, beynin öğrenme süreçlerindeki stratejilerini aydınlatmak için EEG ve OİP'nin ve bilhassa olaya ilişkin osilasyonların önemini bir kere daha ortaya çıkarmaktadır. Öğrenme sürecinde Olay-İlişkili Potansiyel (OİP) deneyleri ve Olay ilişkili osilasyonların (OİO) incelenmesi, beynin fonksiyonlarının bilişsel işlevler sırasında değişimlerini göstermesi açısından önemlidir ve ileride öğrenme, dikkat ve bellek bozukluklarının ölçülmesinde klinik alanlarda da kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar kelimeler: öğrenme, bellek, osilasyon, EEG, delta, teta, alfa, UP, OİP, OİO, P300, görsel, işitsel, seyrek uyaran paradigması, yüz tanıma paradigması

SUMMARY

THE ROLE OF DELTA, THETA and ALPHA OSCILLATIONS IN LEARNING PROCESSES

Dr. Adile Öniz

Dokuz Eylül University, Faculty of Medicine, Dept. of Biophysics and Brain Dynamics

Multidisciplinary Research Center

adile.oniz@deu.edu.tr

Learning is one of the basic functions of the brain as a major cognitive process. The learning processes and learning strategies have been studied in the context of this thesis, using different paradigms, electrophysiological methods.

Aim: This thesis has the aims of;

- Investigating the different responses of the brain to different stimuli under a certain task,
- The measurement of dynamic changes of the responses during stimulations and learning of a given task,
- The determining of learning strategies and enabling of measurement criteria for further studies,
- As a long term aim, establishing methodologies of electrophysiological measurements for assessing learning in pathologies.

Materials and methods: Total of 26 Face Recognition experiments, 20 visual and 20 auditory oddball experiments were performed in healthy human subjects, in 2003-2006. These EEG recordings were studied in 13 electrode locations and in primarily three major oscillatory (0.5-13 Hz) bands (delta, theta, and alpha). In these paradigms and conditions, multiple learning strategies were investigated. In the assessment of learning, brain responses to simple and complex stimuli, target and non-target differences in visual and auditory modalities and finally, the dynamic changes during the experiments have been investigated.

Results: A number of topological differentiations and also changes during learning in the brain were observed. Shortly, differentiated dynamics responses to different stimuli were found in different locations of the brain and also in different frequency channels. As an example, delta responses (0.5–3.5 Hz) were enhanced to simple light and auditory stimuli in frontal regions and to face stimuli in occipital regions. The theta responses (4-7 Hz), especially during the learning of the unknown face, showed marked increases in right frontal and left occipital regions, at the end of the experiments in comparison to the beginning phase. In contrast, in the visual oddball paradigm, the alpha (8-13 Hz) responses were found to be decreased in amplitude at the posterior regions, at the end of the experiments in comparison to the beginning phase.

Conclusion: The brain responds differently to stimulations within the same paradigm. Temporally and spatially differentiated responses were observed. Selective differentiations in delta, theta and alpha oscillatory frequency bands were shown in different cortical regions in respect to the stimulation type, and the content of the paradigm.

The scope of these results point at the importance of the EEG, ERP and especially EROs to understand the strategies of the brain for learning. ERP experiments and analyses of oscillations provide a useful tool for assessing the dynamic changes of the brain during the learning processes, which in turn can be used for measuring dysfunctions of learning, attention and memory in the future clinical studies.

Keywords: learning, memory, oscillations, EEG, delta, theta, alpha, EP, ERP, ERO, P300, visual, auditory, oddball paradigm, face recognition paradigm

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Zihnin ne olduğu, nasıl çalıştığı, bilginin nasıl işlendiği, sadece çağdaş bilim adamlarının incelediği konulardan değildir. Bu konular antik çağdan bu yana düşünürleri ve değişik alanlardan gelen bilim adamlarını hep meşgul etmiştir. Yine de günümüzde insan beyni ve zihni tam olarak anlaşılmış değildir. Ayrıca, doğanın bilinen en karmaşık nesnesi ve olayı insan beyni ve insanın bilişsel süreçleridir. Daha da karmaşık olanı ise bunların ilişkisi, entegrasyonudur. Asırlar boyunca beden ve dolayısıyla beyin, doğa bilimleri kapsamında ele alınagelmış; bu iki öge, canlı varlıkların yapı ve süreçleriyle ilgilenen temel biyolojik bilimlerin, madde ve enerji konularıyla ilgilenen fiziksel bilimlerin, tıp gibi uygulamalı bilimlerin araştırma konusu olmuştur.

Beyin, bilişsel süreçler, bunların ilişkisi ve entegrasyonuna yönelik araştırma ve açıklamalarda, aralarında davranış bilimlerinin de bulunduğu temel bilim dallarının, klinik bilimler ve teknik bilimler bilgi birikimi, yaklaşım ve teknikleri birarada kullanılmaya başlanmıştır. Nörofizyoloji, nörokimya, nöroşirürji, nöropatoloji, nöroradyoloji, nöropsikoloji, bilişsel bilimler, nörofelsefe, biyomedikal mühendislik, moleküler biyoloji, beyin araştırmalarındaki multidisipliner grubun kapsamına giren dallardan sadece bazılarıdır.

Son yıllarda beyin araştırmalarına ilgi artmıştır. Ancak, hala beynin işlemesi hakkında yanıtlanması gereken sorular vardır. Örneğin; öğrenme ile ilgili süreçlerde hangi parametreler etkin olmaktadır ve beyinde oluşan değişiklikler nelerdir?

1970 li yıllarda Başar ve ark. ları tarafından ortaya atılan Nöral Topluluklar Kuramı, süpersinerji ve beyin araştırmalarına osilasyonel yöntemler ile yaklaşım (1–4), son dönem literatüründe artan bir şekilde izlenmektedir. Olay-ilişkili osilasyonlar üzerindeki araştırmalar, nöral topluluklar kuramı ve ayrıca süperpozisyon (farklı frekanslardaki osilasyonların üst üste binmesi) ilkesi; olay-ilişkili osilasyon bileşenlerinin, zaman eksenini üzerindeki genlik değişimlerini içeren olay-ilişkili potansiyel bileşenlerine olan üstünlüğünü ortaya koymuştur. Söz konusu çalışmalar, beynin elektriksel yanıtlarındaki temel analiz biriminin, zamansal yanıtı oluşturan frekans bileşenleri olduğunu göstermiştir [1–3, 5–8]. Yapılan çalışmalarda da

bilişsel süreçlerin çoklu salınımlarla (multiple oscillations) açıklanabileceği belirtilmektedir [2, 3].

Beynin fonksiyonları hakkında bilgi edinilmesini sağlayan bu yaklaşımın invaziv olmaması, ucuz ve zaman çözümlülüğünün çok iyi olması nedeniyle beyin araştırmalarında tercih edilen yöntemler arasında öncülüğü almasına neden olmuştur.

Uygulanabilirliği açısından bakıldığında, literatürde sadece sağlıklı kişilerde beynin fonksiyonlarının anlaşılmasına yönelik çalışmaların dışında, nöroloji ve psikiyatri başta olmak üzere çeşitli patolojik durumlarda da araştırmalar yapılmaya başlandığı görülmektedir. Örneğin; alzheimer hastalarında P300 deneylerinde hedef ve hedef-olmayan uyaranlara karşı verilen yanıtlar arasındaki fark araştırılmış ve azalma gösterilmiştir [9]. Yener ve ark. tarafından alzheimer hastalarında teta osilasyonun erken dönemdeki etkileri incelenmiştir [10]. Kamarajan ve ark. [11] yaptıkları yeni bir çalışmada alkoliklerin çocuklarında nörokognitif disinhibisyona işaret eden bulgular sunulmaktadır. Bu çalışmaya göre, delta, teta ve alfa1 (8-9Hz)'de azalmış aktivitenin endofenotip işaretleyici olarak (alkolik olma riskine karşı) kullanılabileceği öne sürülmektedir.

Bilişsel işlevler arasında yer alan öğrenmenin osilasyonel yöntemlerle tek başına incelenmesi literatürde görülmemektedir. Başar [4] bellek ile ilişkili dikkat-algılama-**öğrenme**-hatırlama komponentlerinin (APLR-Alliance) birbiri ile ayrılamaz bir kompleks olduğunu belirtmiştir. Bu tezde, farklı paradigmlar esas alınarak öğrenme ile ilişkili bazı komponentleri içeren öğrenme stratejileri belirlenmeye çalışılacaktır.

Sonuç olarak bu tezin hazırlanmasında amaçlar;

- Bir görev altındayken beyin farklı uyaranlara verdiği yanıtların incelenmesi
- Uyaranların ve verilen görevin öğrenilmesi sırasında uyaranlara alınan yanıtlardaki değişikliklerin ölçülmesi
- Öğrenme stratejilerinin belirlenmesi ve ölçüm kriterleri geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılabilmesi
- Uzun süreli hedef olarak, patolojilerde öğrenme durumunun elektrofizyolojik yöntemlerle ölçülebilir hale gelmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Beyin Araştırmalarına Tarihsel Bakış

Milattan önce 500'lü yıllarda bile beyin insanoğlunun ilgisini çekmiştir. Bu konuda fazla araştırma yapılmamışsa da Eflatun, Aristoteles, Arşimet gibi dönemlerinin büyük düşünürleri, ruh kavramından zihin kavramına bir geçiş yapılmasına katkıda bulunmuşlardır. Bu dönemlerde daha çok kavramlar ortaya atılmış ve felsefi yaklaşımlarla modeller ortaya konulmaya çalışılmıştır. Filozofinin yanında Hipokrat, Galen, Vesalius ve Harvey gibi isimler de fizyolojik-nöral mekanizmalar ortaya koymuşlardır. 17. yy'da ortaya çıkan İngiliz görgülcü ve çağrışımçıları ise zihnin nasıl çalıştığına ve ne olduğu sorularına atomistik ve mekanistik yaklaşımlarla katkıda bulunmuşlardır. 19. yy'da Alman ekolü ve Aktif Zihin kavramının Leibnitz (1646-1716) öncülüğünde ortaya atılması ile çalışmalar spekülatif olmaktan uzaklaşmış ve gözlem ve deneyler önem kazanmıştır. 18. yy'da fizyolojik, anatomik araştırmaların katkısı ile yeni bakış açıları beyin modellerini geliştirmiştir [12].

Hartley uyaranların beyinde titreşimler oluşturduğunu, bu titreşimlerin uyaran sona erince sona erdiğini, eğer uyaran yeterince tekrarlanırsa titreşimlerin beyinde süreklilik kazanacağını, bu titreşimlerin zamanla diğer titreşimleri de uyayabileceğini öne sürmüştür. Bu fikirler halen gündemde olup çağrışım kavramının temellerini oluşturmaktadır.

17.yy'dan 19. yy'a kadar olan süreçte Newton Prensiplerinin, beyin araştırmalarının temel taşlarından biri olduğu da bir gerçektir. Yine 19. yy başlarında nörofizyolojik araştırmalar önemli katkılar sağlamıştır. Johannes Müller'in 1838'de 'doctrine of specific energies of nerves' (nöronların spesifik enerjileri doktrini) adıyla ortaya koyduğu yaklaşıma göre her sinirin kendine özgü bir enerjisi vardır ve belirli sinirlerin uyarılması daima belirli bir duruma yol açar. Yine Müller ve Berlin Fizik Derneği, canlılarla ya da maddelerle ilgili tüm olayların sınırlı sayıda mekanizma ile açıklanabileceğini düşünmüşlerdir. Bu dönemde Helmholtz ise sinirsel iletimin hızını ölçmeyi başarmış: uyarı ve tepkinin aynı anda ortaya çıkmadığını ortaya koymuştur. 1900'lü yıllara gelindiğinde daha çok psikolojik fizyoloji ve davranış bilimleri üzerine deneysel ve filozofik yaklaşımlar ortaya konmuştur. Bu dönemde beynin işlevlerini ortaya koymak üzere yapılan deneysel çalışmalar hayvanlar üzerinde yapılmıştır. Çünkü işlevlerin beynin hangi hemisferi ya da hangi bölgesi tarafından

gerçekleştirildiğini anlamak için kortikal ya da diğer santral sinir sistemi üzerinde hasarlanma modelleri oluşturarak bir yap-bozun parçaları tamamlanmaya çalışılmıştır. Özellikle Brodman'ın yaptığı numaralama yöntemiyle kortikal işlevsel alanlar ortaya konulmaya çalışılmıştır [12].

Son on-onbeş yıldır süren multidisipliner yaklaşımla yapılan araştırmalar beynin çalışma mekanizmaları hakkında kısa sürede çok daha fazla bilgi edinmemizi sağlamıştır [12] ve sağlamaya devam etmektedir.

2.2 Beyin, Bilişsel İşlevler ve Öğrenme

Öğrenme bilişsel süreçler içinde yer alan bir işlevdir. Öğrenmenin gerçekleşmesi için; dikkatin varlığına, algılamanın gerçekleşmesine, bellekteki bazı bilgilerin tekrar geri çağırılması ve işlenmesine, bilgilerin öncelikle kısa süreli bellekte tutulmasına ve hafızaya yardımcı (mnemonik) bazı süreçlerle uzun süreli belleğe iletilmesine ihtiyaç vardır. Bellek hakkında yazmış olduğu kitabında Başar [4], belleğin pek çok bileşeni olduğunu ve bunların kesin sınırlar ile birbirinden ayrılamayacağını belirtmiştir. Başar'a göre APLR-birliği (Attention-Perception-Learning-Remembering) yani dikkat-algılama-öğrenme-hatırlama, bellek içinde bulunan bileşenlerdendir ve birbirini pek çok koşulda etkiler.

Uzun yıllardır beynin bilişsel işlevleri ile ilgili çalışmalar süregelmiştir. Kısaca 'öğrenme' araştırmaları ile ilgili gelişen tarihsel sürece baktığımızda, aşağıdakileri sıralayabiliriz:

Hebb kuralına göre; öğrenme süreci dağılmış nöronların işlevsel işbirliğini gerektirir. Daha doğrusu, bu kural tek bir nöron üzerinde bir araya gelen ve bir arada aktive olma eğiliminde olan sinaps gruplarının, tek bir grup olarak güç kazanacağını ileri sürer. Buna "birlikte çalışma (işbirliği) prensibi" denir. Hebb teorisine göre [13] bağlantılı hücrelerin ortak etkileşmesi, ateşleme ağırlıklarının değişmesine yol açar. Presinaptik hücre etkinleşirken postsinaptik hücrenin de etkinleşme olasılığı artar. Hebb'in kendi ifadesiyle: "A hücresinin aksonu B hücresini uyaracak kadar yakında ise veya tekrar tekrar, ısrarla ateşlerse, bir tür hücre büyümesi veya metabolik değişiklik meydana gelir ve böylelikle, B'nin ateşlenmesinde

A'nın etkisi artar". Bu öğrenme prensibi her ne kadar "büyüme" veya "metabolik değişiklik" konusuna tam olarak açıklama getirmese de, iyi bir başlangıç noktası görevini görerek öğrenme ve bellek için nörobiyolojik çalışmalarda tercih edilen yaklaşım modeli olmuştur. Hebb, "Bir şey öğrenildiği zaman, acaba nöronlar arasında bağlantılar artıyor mu veya nöronlarda değişiklik oluyor mu?" diye sorar [13]. Kastedilen bu değişiklik beynin plastisitesi ile ilgili olabilmektedir.

Seung'a [14] göre, yarım yüzyıl geçtikten sonra bile, bir bütün olarak Hebb Teorisi hala çok ilgi çekicidir. Sinir ağları dinamiği ile düzenlenen sinaps davranışları ile ilgili genel çalışma çerçevesini ortaya koymaktadır. Bu yüzden de Hebb'in fikirlerinin daha çok araştırılması, molekül ve hücresel olaylardaki sinaptik plastisitenin öğrenme ve bellekteki yeri konusunda elde ettiğimiz bilgilerin anlamlandırılması için yol gösterici niteliktedir. Hebb'in hücre topluluğu teorisi daha sonraki araştırmalara yön vermektedir [15].

Hebb'e paralel olarak, Hayek [16] ilgi çekici bir teoretik çerçeve veya psikoloji teorisi geliştirmiştir. Bu yaklaşım nöral bilimlerde hala az bilinmekle birlikte, bellek işlevlerine yaklaşımda modern görüşlere etkili olmuştur [4, 17]. Hayek aynı zamanda dinamik değişikliklerin nöral işlevlerdeki yerinden bahsetmiştir. Hayek'in sözleriyle "*Aynı dış uyaranlar, her zaman aynı yanıtı oluşturmayacakları gibi yepyeni yanıtların da oluştuğu görülebilir*".

Öğrenme ve belleğin moleküler seviyede anlaşılmasında Eric Kandel ve ark.larının önemli katkıları olmuştur [18, 19]. Bu çalışmaların büyük kısmı *Aplysia californica* adlı ve yaklaşık 10 000 nörondan oluşan basit bir deniz canlısında gerçekleştirilmiştir. Kandel ve ark.larının araştırmaları, öğrenme sürecinde oluşagelen sinaptik etkinliğin değişikliklerinin somut olarak ortaya konmasında ilk basamaklardır. Özellikle *Aplysia*daki beslenme davranışına özgü, solungaç ve sifon geri çekme refleksindeki habituasyonun, tanımlanmış bir sinaptik bölgede transmitör salgılanmasındaki azalmayla olduğunu bulmuşlardır [20, 21]. Bu sonuçlar Hebb'i desteklerken, Bailey ve Chen [22] habituasyona elektrofizyolojik olarak tanımlanmış sinapslarda yapısal değişikliklerin de eşlik ettiğini göstermişlerdir. Hebb'in homosinaptik kuralının tersine Kandel ve grubu sinaptik büyümeye yol açan uzun süreli bellek mekanizmalarında heterosinaptik plastisiteye işaret etmişlerdir.

Fuster'e göre [23] nöral bellek birçok yönden özeldir; bilgiyi geri çağırma kapasitesi dışında adaptif amaçlı kullanabilme özelliğindedir. Bu bağlamda, öğrenme ve nöral bellek doğal ortaklıktadırlar ve her ne kadar öğrenme genellikle bellek edinimi işlemi olarak tanımlansa da, bu ifadelerin ayrıştırılması pratikte çok güçtür.

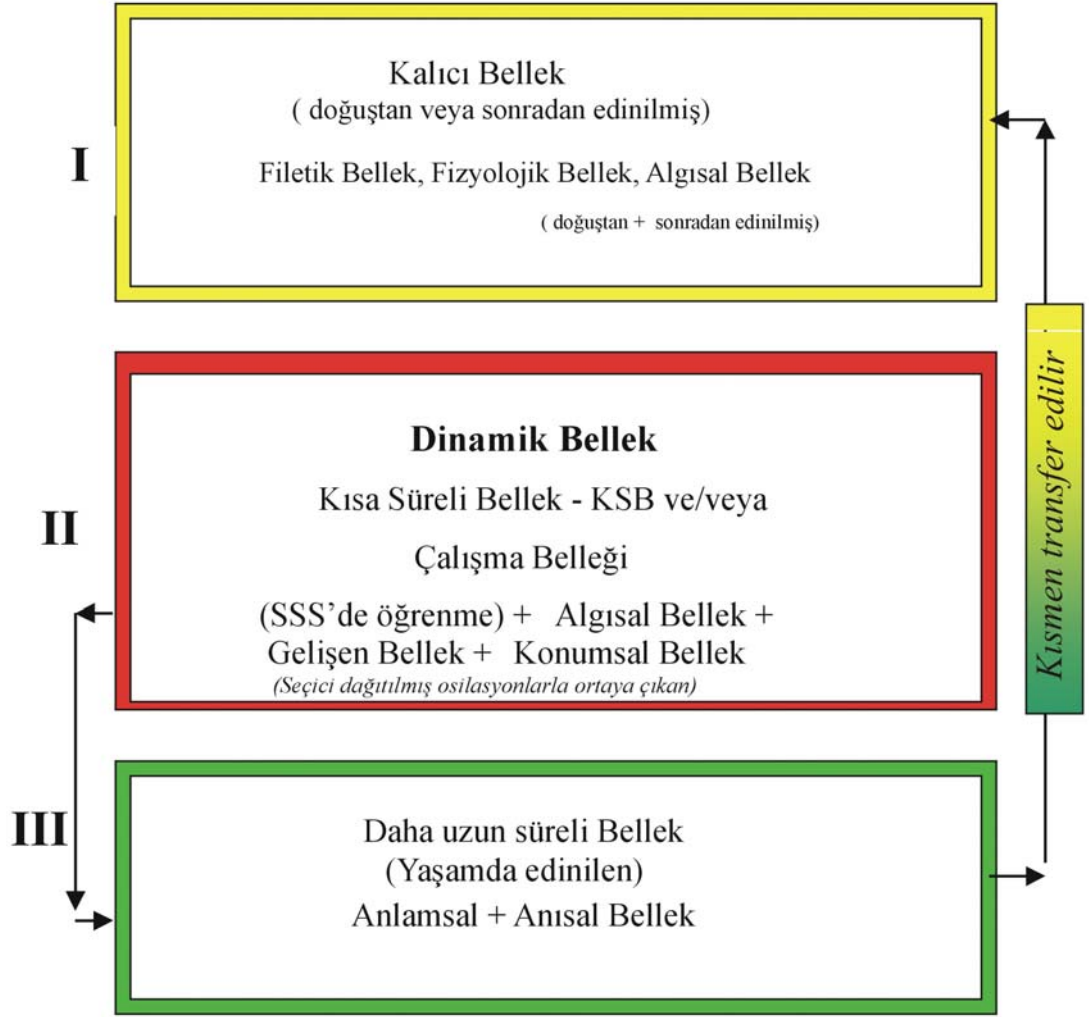
Helmholtz [24] geçmiş deneyimlerden mental yapıtlar oluştuğunu ve bellekte depolanıp geri çağırıldığı yaklaşımını tanıtmıştır. Buna göre algılar hatırlanan ve uyartılmış nöral görüntülerin karşılaştırılmasıyla oluşmaktadır. Beyinde bu görüntüler uyartıldığında ne olmaktadır? Bu görüntüler aynı zamanda hatırlamaya paralel olarak elektrik potansiyellerini de mi uyarmaktadırlar?

Mountcastle [25] kuramda bir basamak daha ileri giderek: “Belki de uyarıların doğrudan etkilerinden ziyade, bunların bellekteki eşleştirilmelerine ait nöral aktivite paternleri bizim algılamamızdır” demiştir. Doğal olarak biliçaltı etkilerin ve nörofizyolojik somut kanıtların bulunması hep zor olmuştur. Bu önermeler nöralbilimlerdeki önemli sorular olarak kalmıştır. Örneğin, deneyimler nasıl depolanırlar ve geri çağırılırlar? Nöral topluluklar nasıl eşleştirilir ve karşılaştırılabilir? Eşleşen deneyim bilgisi nasıl bilince ulaştırılır? Büyük olasılıkla biliçaltı deneyimler ve eşleştirme tanımlanması algılamadaki ileride yanıtlanabilecek konular olarak kalmayı sürdürecektir [26].

Sorulardan birisi de eşleştirme süreçlerinin beyin osilasyonlarına da yansımalarıdır. Hermann ve ark [27] eşleştirme işlemlerinde gamma osilasyonlarını aday göstermekteyken Başar ve grubu, çoklu osilasyonları önermektedir [4].

Daha önce de belirttiğimiz gibi; algılamayı, öğrenme ve hatırlama süreçlerini bir çok seviyede birarada görme eğilimi bulunmaktadır. Baddeley'in [28] çalışma belleği ile ilgili yeni yaklaşımında, algı, dikkat, bellek ve eylem birarada ele alınmaktadır. Desimone'un [29] tek hücreli analizleri de aynı görüşü fizyolojik seviyede desteklemektedir. Başar [4] EEG osilasyonlarını (nöral topluluklarda) dikkat-algı-öğrenme ve hatırlama bileşkesi (**Attention-Perception-Learning-Remembering / APLR-alliance**) olarak irdeleyen yeni bir strateji önermiştir. Burada Fuster [23, 30] ve Hayek'in [16] kavramları uyarlanmakta ve bellek, beynin diğer işlevlerinden ayrılamaz bir bütün olarak ele alınmaktadır (Şekil 1–2).

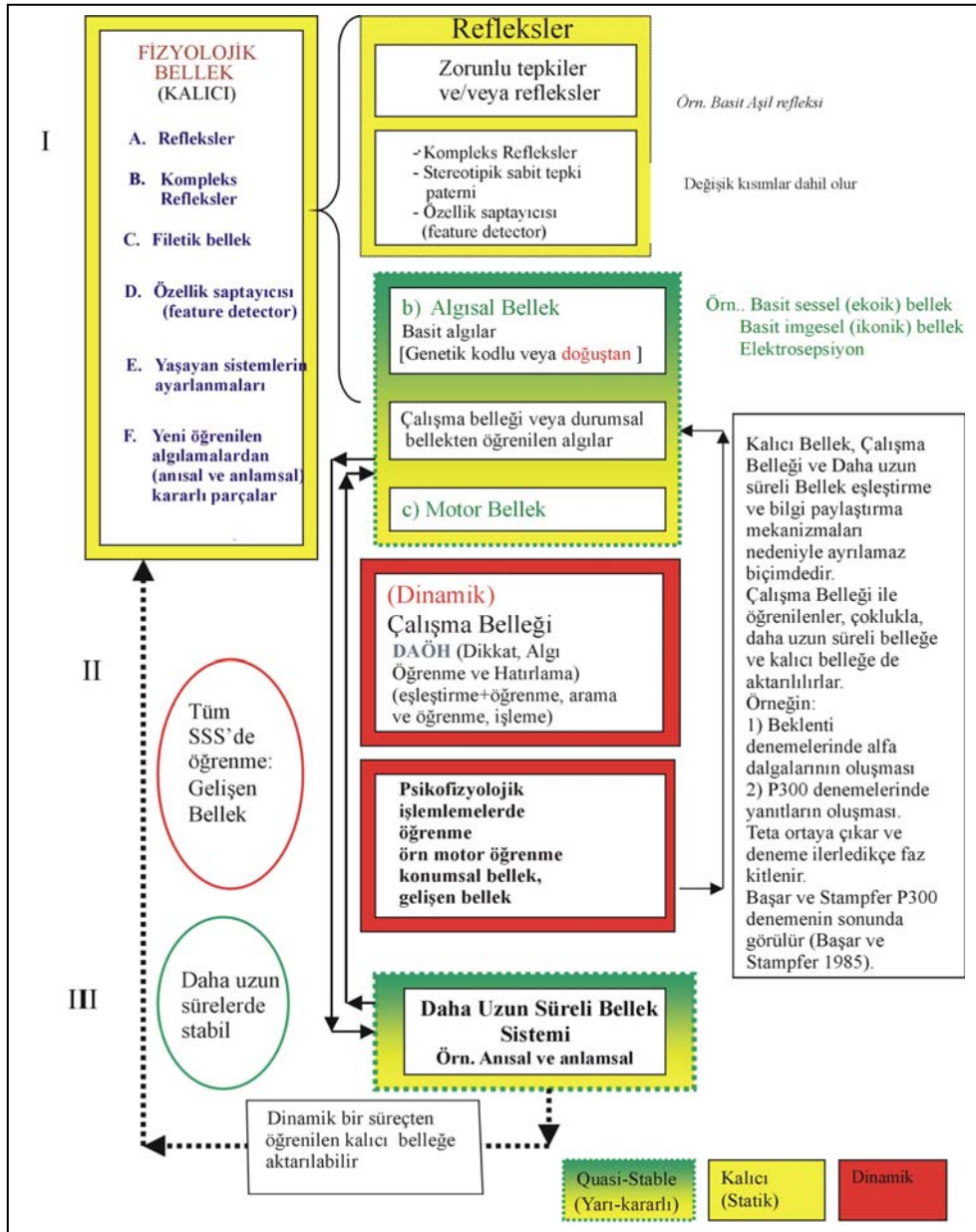
BELLEK



Bellek, Kalıcı Bellek, Dinamik Bellek, ve Daha uzun süreli Bellekten oluşur

Şekil 1 Bellek Akış Şeması-I

Bellek seviyelerini ve ilişkilerini gösteren genel şema (Başar [4] dan modifiye edilmiştir). Kalıcı bellek sarı renkte gösterilmiş ve Şekil 2 ile benzer renkte kodlanmıştır. Kırmızı arka plan çalışma belleği ile ilgili işlemleri ve dikkat, algı, öğrenme, hatırlama durumlarını imgelemektedir. Çalışma belleği ve prosedürel bellek bütün beyinde etkin olmakta ve öğrenilen bellek kayıtları daha uzun süreli, kararlı veya yarı-kararlı belleğe aktarılmaktadır. Kalıcı bellek, fizyolojik bellekten, dinamik belleğin kararlılaştırılmış izlerinden ve yarı-kararlı daha uzun süreli etken bellekten oluşmaktadır. Daha uzun süreli bellekten kalıcı belleğe geçiş kısmen olabilmektedir.



Şekil 2 Bellek Akış Şeması-II

Belleğin bölümleri, hiyerarşisi ve ara geçişlerini gösteren şema (Başar [4] modifiye edilmiştir). Birinci seviyedeki (üstte) kalıcı bellek, fizyolojik belleği, refleksleri, filetik (türe özgü) belleği, doğuştan gelen ve sonradan edinilmiş algı ve fizyolojik işlevleri içermektedir. Kan basıncı, düz kasların tepkileri, kalp atımı, motor bellek gibi yaşamsal işlevlerin ayarlanması da fizyolojik belleğin kapsamındadır. Sarı renkle betimlenen statik bileşenler kalıcı belleği, yeşil-sarı renk yarı-kararlı daha uzun süreli belleği göstermektedir. Çalışma belleği veya prosedürel belleğin etkinliği ile yeni edinilmiş algılar yarı-kararlı gruptadır ve doğumdan sonra kazanılan bellek olma özelliği ile yaşamın uzun süreçlerinde devam eder. Zamanla başka kazanımlarla değişebilir veya unutulabilirler. Algısal bellek I ve II seviyeler arasında yer alır ve dinamik işlemlemeyi ve çalışma belleğini kapsar. *Dikkat, algı, öğrenme, hatırlama* esnasındaki dinamik değişiklikler gelişen bellek ile bağlantılıdır. Motor öğrenme ve prosedürel belleği takiben yeni engramlar oluşabilir ve okla belirtildiği gibi algısal veya motor belleğe geçebilir. Prosedürel veya gelişen bellek yeni edinilmiş bilgi III seviyeye transfer edilir. Anısal ve anlamsal bellek bu seviyede yarı-kararlı olarak gösterilmektedir.

Öğrenme ve çalışma belleği ile ilgili işlevlere ait denemelerde, teta ve alfa osilasyonlarının sürekli gelişen dinamiği gösterilmiştir. Ampirik sonuçlar, işlevler bileşkesi ile beraber belleği tüm beyinde kapsayan bir modelin gelişmesine yol açmıştır.

Mountcastle [31] “beyin onyılı”nda nöralbilimlerde bir paradigma değişikliğine işaret etmiş; yavaş salınımlı beyin dalgalarının santral sinir sisteminde gerçek sinyaller olduğuna ve beyin bilişsel işlevleri ile ilişkili olduklarına yönelik yeni kanıtları ifade etmiştir. Böylelikle, Beyin Dinamiği ve osilasyonlar teması, değişik bilişsel ve öğrenme durumlarında saçlı deriden elektrot kayıtlarıyla çalışılabilen ve nöralbilimlerde cazip bir araştırma alanı haline gelmiştir. 1970’lerde üç araştırma grubu kognitif araştırmalarda osilasyonel beyin etkinliğinin önemini ortaya koymuştur. Freeman [32] ve Sheer, bulbus olfactorius ve insan korteksi gamma korteksinde çalışmalarını odaklarken, Başar ve ark. [1, 33, 34, 35] beyin büyük boyutta faaliyetleri; delta, teta, alfa, beta, gamma bandında osilasyonların superpozisyonu ve serebellumdaki 300 Hz gibi frekanslardaki osilasyonlarda çalışmışlardır.

İzole edilmiş omurgasız ganglionları, düşük omurgalıların beyinleri ve insan beynindeki dokular duyuşsal ve bilişsel girdilere neredeyse değişmez frekans kanallarında ortak osilasyon tepkileri vermektedirler [3, 4].

2.3 Beyin Dinamiğinin Ölçülmesi

Beyin dinamik işleyen bir sistemdir. Beyni anlamak, öncelikle, onun hem yapısal özelliklerini hem de bu yapının olası kıldığı fonksiyonel süreçleri anlamayı gerektirir. Laboratuvar çalışmalarında fiziksel bir cisim olarak ele alınan beyin, yapısal ve moleküler seviyede hayvan ve insanlar üzerinde çalışılmakta iken, beyin karmaşık olan bilişsel fonksiyonları sadece canlı ve bütünlüğü korunmuş insanda incelenabilmektedir. Beyin dinamiğinin ölçülmesi, birçok yöntem ile yapılabilmektedir ve bunlardan biyokimyasal ve elektrofizyolojik yöntemler başta gelmektedir.

Beyin araştırmalarında anatomik ve fonksiyonel beyin yapısının incelenmesinde bazı görüntüleme yöntemleri de kullanılmaktadır. Bunlar arasında, Bilgisayarlı Tomografi (CT),

Magnetik Rezonans Görüntüleme (MRI), Fonksiyonel MRI (fMRI), Magnetoensefalografi (MEG) sayılabilir.

Bütün yöntemler ile karşılaştırıldığında insanda girişimsel (invaziv) bir yöntem olmaması, maliyetinin düşüklüğü ve zamansal çözünürlüğünün iyi olması nedeniyle EEG bize beynin fonksiyonları hakkında son derece önemli bilgiler sağlamaktadır.

Elektrofizyoloji yöntemlerinde elektroensefalografi, uyarılma potansiyelleri (UP, EP- Evoked potentials), olay-ilişkili potansiyeller (OİP, ERP-Event related potentials), olay-ilişkili osilasyonlar (OİO, ERO- Event related oscillations) sayılabilir. Kısaca bu yöntemlere ve beyin araştırmalarındaki yerine değinecek olunursa;

2.3.1 Elektroensefalografi (EEG)

Beynin bilinen herhangi bir uyarı olmaksızın yani spontan olarak kaydedilebilen bir elektriksel aktivitesi vardır. Bu ilk kez 1875 yılında Caton tarafından gözlenmiştir [36]. İnsan olmayan canlılarda önemli araştırmalar yapılmışsa da Hans Berger 1929 yılında ilk defa insanda EEG yi ölçen bilim adamı olarak bilim tarihine geçmiştir [37].

Başlangıçta ve ayrıca 1970–1980 yılları arasındaki dönemde, bu elektroensefalografik faaliyetin, beynin ardaan gürültüsü olduğu düşünülmüştür. Basit bir galvonometre ile Berger tarafından alfa ve beta dalgaları ölçülmüş, hatta epilepside beyin dalgalarındaki değişiklikler gösterilmiştir. Bu elektroensefalografik (EEG) faaliyetin, gürültü olmadığı ve zihinsel işlevlerle yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir. EEG, o zamanlarda başlayan klinikteki önemli yerini bugün de korumaktadır. En çok epilepsinin teşhis ve tedavisinde, çocuk beyninin frekansa bağlı gelişiminde, komada, beyin ölümünde (brain death) olduğu gibi, beyindeki pek çok patolojide bize bilgi verir.

2.3.1.1 EEGnin Klasik Frekans Bandları:

Delta ritmi (0.5–3.5 Hz) ve **Teta ritmi** (4–7 Hz) yeni doğan hariç, uyanıklıkta çok nadir gözlenen yavaş frekanslardır. Gözlenmesi durumunda bir patoloji düşündürür [2]. Daha çok derin uykuda ortaya çıkan ritmlerdir [38].

Alfa ritmi (8–13 Hz): Sağlıklı insanlarda, sessiz bir odada, gözler kapalı ve dinlenme durumunda baskın olan ritm 8-13 Hz alfa'dır. En yüksek genlik parietal ve oksipital bölgede gözlenir. Bazı durumlarda alfa frekansının bloke olduğu görülmektedir. Örneğin; gözlerin açılması ile, şiddetli duysal uyaran ile, dikkatin artırılması durumunda, mental aktivite, mental veya aritmetik problem çözümünde alfa blokajı olabilir. Çocuklarda 3 yaşına kadar alfa ritmi gözlemlenmez. İleri yaşlarda ise oksipital bölgeden frontal bölgeye doğru yoğunluğu yer değiştirir [2].

Beta ritmi (15-30 Hz): Hans Bergerin aktif EEG olarak tanımladığı, uyanık halde gözlenen beyin dalgasıdır. Özellikle beynin ön bölgelerinden elde edilir [2].

Uykunun değişik evrelerinde, EEG de farklılıklar gözlenir. Uykuya girişin ilk devresinde, alfa ritminin genliğinde bir azalma olur ve düşük genlikli teta aktivitesi gözlenir. Uyku derinleştğinde 1-3 Hz delta dalgaları görülmeye başlar [2].

2.3.2 Uyarılma Potansiyelleri (UP) ve Olay- İlişkili Potansiyeller (OİP)

Beynin spontan aktivitesinde, verilen dış uyaranlara karşı ortaya çıkan yanıtlara Uyarılma Potansiyeli denir. Çalışmaların amacına göre; elektriksel, kimyasal, fizikokimyasal, işitsel ve görsel uyaranlar gibi çeşitli uyaran türleri kullanılmaktadır. Bu uyaranlar; basit ve karmaşık, kompleks sinyaller olarak kullanılabilir. Uygulanan uyaranlardan sonra beynin spontan aktivitesinde yaklaşık bir saniye süre ile değişiklikler oluşmaktadır.

Bunlardan bilişsel fonksiyonlar, karar verme, bellek, algılama, düşünme, planlama gibi olaylarla bağlantılı olanlarına olay ilişkili potansiyeller denmektedir ve alınan beyin tepkileri

endojen potansiyelleri de içerir. 1970’li yıllarda tekniğin ilerlemesi ile Sutton ve ark.ları tarafından OİP kaydedilmiştir [39].

EEG aktivitesinde bir değişme olarak görülen UP’ler ve OİP’lerin bu temel aktivite içerisinde görülmesi kolay olmamaktadır. Bilgisayarlar ve yazılan programlar aracılığıyla her bir uyarandan sonra ortaya çıkan dalgaların ortalamasının alınması sonucu gözlenebilmektedir [33].

Olay ilişkili potansiyellerde en çok uygulanan paradigma literatürde “oddball paradigm” olarak geçen, Seyrek Uyarın Paradigmasıdır. Bu modelde, aynı modalitede özelliği farklı hedef-olmayan (standart, non-target) ve hedef (target) uyarılar, belli bir sıra içinde verilir. Hedef uyarının verilme sırası değişmektedir. Deneye alınan bireyin dikkati hedef uyarana yönlendirilir ve hedef uyarıyı akıldan sayması istenir.

OİP’de sık kullanılan diğer paradigmlar; atlanılan (Omitted) uyarı paradigması, uyumsuzluk negativitesi paradigması (Mismatch Negativity) ve beklentisel negatif değişim paradigmasıdır.

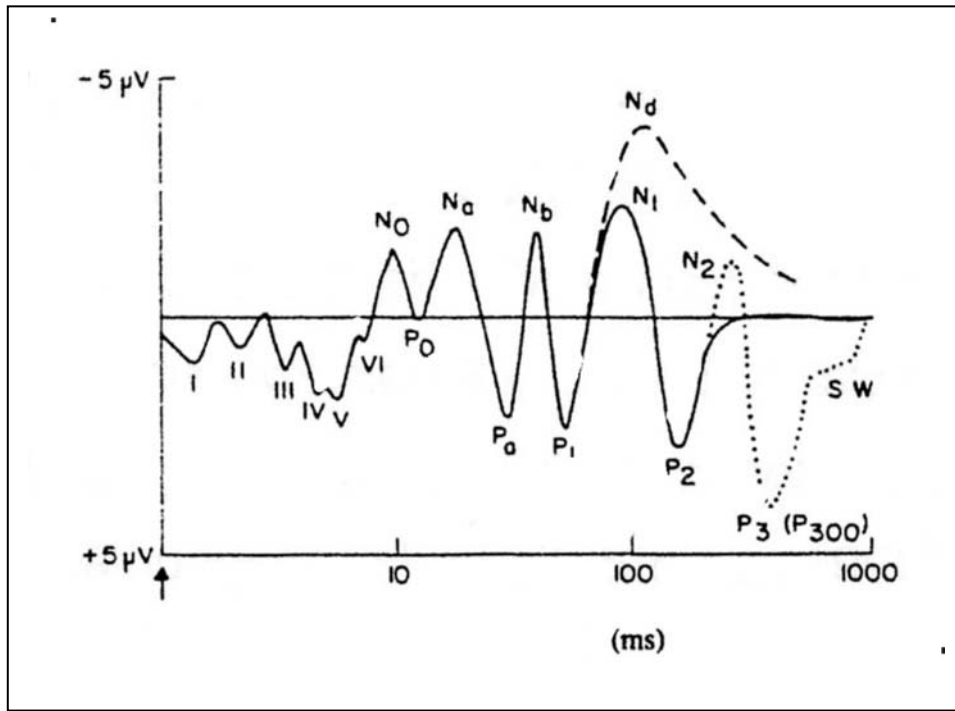
Uygulamada, atlanılan paradigmada, hedef uyarın, verilmesi gereken sırada verilmez ve atlanır. Uyumsuzluk negativitesi paradigmasında, model seyrek uyarın paradigmasına benzer, ancak, kişinin dikkati farklı “sapmış” uyarıdan başka bir yöne yönlendirilir. Beklentisel negatif değişim modelinde, ilki koşullandırıcı ikincisi buyruksal iki uyarın verilir ve genellikle bu uyarınların modaliteleri farklıdır. Buyruksal uyarınla birlikte bireyin mental ya da motor bir görevi yerine getirmesi istenir [3, 40, 41].

2.3.2.1 OİP Bileşenleri

N100, uyarıdan yaklaşık 100 ms sonra ortaya çıkan negatif yöndeki bir dalgadır (Şekil 3). Uyarıdaki enerji değişikliği ile spesifik olmayan şekilde tetiklenen, fiziksel analizin yapıldığı, dikkat öncesi otomatik bir tepkidir. Duyusal kayıt ile ilişkili olduğu düşünülmektedir ve daha çok orta hatta (Fz, Cz, Pz) gözlenmiştir. Uyarıdaki enerji değişikliğinin şiddetine bağlı olarak, N100 aynı zamanda da yaygın bir genel uyarılmışlık hali

yaratır. Uyarana karşı algısal ve motor tepkilerin yapılmasını kolaylaştıran genel uyarılmışlık, dikkatin ilgili uyarana odaklanmasını kolaylaştırır. N100 bileşeninin erken kısmı, ayrıntılı duysal analizle ilgilidir. Daha önceki uyarın ile yeni gelen uyarın arasındaki farkı algılamakla ilgilidir.

N200, ödev (task) altında verilen uyarandan yaklaşık 200–250 ms gecikmeli olarak ortaya çıkan ikinci negatif dalgadır. Uyarının modalitesi ve şiddetinin yanı sıra uyarana dikkat edilmesine, ard arda gelen uyarınlar arasındaki farka ve uyarının sıklığına duyarlılığın sonucu olarak düşünülmektedir. Uyarınların değişmesi ve uyarınların sınıflandırılması ile ilişkilendirilmiştir [43].



Şekil 3 Olay-ilişkili potansiyel bileşenleri N100, N200, P200 ve P300 ün gösterilmesi

P200, uyarandan yaklaşık 200 ms sonra ortaya çıkan ve N100 ün ardından görülen ilk pozitif dalgadır. Uyarının tanımlanması, uyarın hakkında karar verilmesi ve farklı uyarınların karşılaştırılması durumlarında gözlenir [3].

P300, uyarandan sonraki 200–800 ms içinde ortaya çıkan ve bilişsel süreçlerle en çok ilişkilendirilen OİP bileşenidir. Genelde dikkat tepkisine işaret eden, uyarın sınıflaması,

beklenti ve gelen uyarının farkına varma durumunda ortaya çıkan bir bilişsel bileşen olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, hedef uyarılara karşı bir ayırt etme tepkisi olarak belirmektedir. P3a daha erken (250–300 ms) ortaya çıkar. Frontosentral ve pariyetal bölgelerden, farklı ve sürpriz değeri olan ancak bir tepkinin yapılmadığı uyarılara karşı elde edilir. P3b daha geç (300–800 ms) ortaya çıkar. Söz konusu uyarı ile ilgili bir görevin yerine getirildiği seyrek uyarı paradigmasında, sentral ve pariyetal bölgelerden kaydedilir. P300'ün uyarı sınıflaması, beklenti ve gelen uyarının farkına varma değişimleri sonucunda ortaya çıkan, odaklanmış dikkatle, dikkat değişimlemeleri ile, bilişsel çaba gerektiren ve belleğin güncelleştirilmesi ile ilgili bir OİP bileşeni olduğu kabul edilmektedir [6, 7, 44-47]. P300 latansı, belleğin güncelleştirilmesi ve davranışa karar vermenin; genliği ise dikkatin ölçüsü kabul edilmektedir [40, 45, 47] (Şekil 3).

2.3.3 Beyin Araştırmalarında Osilasyonel Yaklaşım

Beynin nasıl çalıştığı konusunda literatürde yer alan çeşitli genel kuramlar vardır. Bunlardan biri olan, osilasyonel nöral topluluklar kuramında Başar [2, 3, 5] beyin paralel işleyişinin temelinde, nöral topluluklarca sergilenen osilatif davranışların yattığını öne sürmüştür.

Osilasyonel nöral topluluklar kuramının temelinde, uzun yıllar içinde ve değişik bilim kişileri ve gruplar tarafından yapılmış araştırmalar yer almaktadır. Bu araştırmalar osilasyonların; beyin yapılarının entegrasyonunda, kognitif işlevlerin entegratif özelliklerinde, evrimsel boyut boyunca gözlenen çeşitliliğin entegrasyonunda ve nöronlarla nöron topluluklarının entegrasyonundaki temel öge olduğunu ortaya koymuştur [1, 2, 3].

EEG'de gözlenen beyin osilasyonları, ilk kez, osilasyonel nöral topluluklar kuramında, beyin faaliyetinin temel prensibi olarak ele alınmıştır. Osilasyonel nöral topluluklar kuramına göre, beyin, değişik frekans bantlarında osilasyonel aktivite gösterir. Bunlar; delta, teta, alfa, beta, gamma olarak adlandırılır. Beynin bu öz osilasyonları onun doğal tepkileridir. Beynin osilasyonları spontan olarak yani bilinen herhangi bir deterministik sinyal olmaksızın gözlenebilir. Ayrıca herhangi bir uyarı sonrası da osilasyonların değişik özelliklerini incelemek mümkündür. Beynin elektiriksel faaliyetlerini tanımlamada osilasyonun oluşma

sıklığı (frekansı) önemlidir, ayrıca söz konusu osilasyonun, uyarının verilme anının öncesinde (yani EEG) ve sonrasında (yani OİP) yer almasına göre pek çok farklı özellikte taşır. Uyarın sonrası görülen özellikler arasında; osilasyonun ne zaman ortaya çıktığı, süresi, genliği, bloklanması, ortaya çıktığı zaman pencereleri, uyarana zaman-kilitli ve/veya uyarana faz-kilitli olması sayılabilir. Uyarın öncesi özellikler arasında, osilasyonun süresi, genliği, bloklanma veya azalması (attenuation) bulunmaktadır. Tüm bu özelliklere ek olarak bu osilasyonun hangi uyarana karşı ve beynin hangi alanından kaydedildiği de önemlidir.

Zaman-alanındaki çalışmalarda, elektriksel potansiyelin zamana bağlı değişimi esas alınmakta, incelenen parametreler potansiyelin genlik, latans ve topoğrafyası olmaktadır.

Frekans alanındaki çalışmalara göre esas olan elektriksel potansiyelin kendisi değil, onun karmaşık dalga formunu oluşturan frekans bileşenleridir. Bu yaklaşımla incelenen parametreler arasında osilasyonun frekansı, genliği, uyarana göre olan faz açısı, osilasyonun başlama zamanı ve süresi yer almaktadır [1].

Bir osilasyona yalnız tek bir işlev tanımı atamak olası değildir. EEG osilasyonları çoklu işleve sahiptir ve evrensel işlemciler veya kodlar gibi beyin işlevinde yer almaktadırlar. Her osilasyon birden çok fonksiyonda yer alırken, her bir fonksiyonu da birden çok osilasyonun beyinde seçici dağılmış entegratif davranışı ile açıklamak mümkündür. Örneğin, uyarana zaman-kilitli erken gamma duyusal süreçlere işaret ederken, geç gamma zaman-kilitlenmesi göstermeyen uyarılmış (endüklenmiş) nitelikte bir gammadır [49].

Nedensel bir etki ile uyarıldığında beyinden, karmaşık dalgabıçımı yapısında bir olay-ilişkili potansiyel kaydedildiğini belirtmiştik. OİP dalgabıçımını da oluşturan yine bu osilasyonlardır. OİP'nin işlenmesi ile elde edilebilecek olan bu osilasyonlara olay-ilişkili osilasyonlar (OİO) denmektedir [7]. Beynin osilasyonları, hem onun her an değişerek devam eden spontan faaliyetini ve tepki eğilimlerini yansıtmakta hem de beynin uyarılara tepkilerini oluşturmaktadır [50].

Osilasyonlar beynin güvenilir tepkileridir ve beynin işleyişini açıklayan prensiplerin ana ögesidir. Asosiyatif öğrenmenin gerçekleşmesi, izlerin uzun-sürekli bellekte depolanması ve

gerektiğinde geri-çağırılması yani hatırlanması, karmaşık arama stratejileri başlatmak, stratejileri uygulamaya koymak, bilgileri düzenlemek, koordine etmek, yorumlamak, geliştirmek, zamanda ve mekanda düzenlemek, zamansal tahminler yapmak ve koşula bağımlı düşünmek, kısaca ‘yönetici işlevler’ gibi fonksiyonlar, evrimsel olarak en üstün haline insanda ulaşmış olan bir beyin sistemini gerektirir. Tüm bu işlemlerlerin oluşabilmesi için, beyne seçici olarak dağılmış olan paralel osilasyon sistemlerinin aynı zamanda entegratif çalışması gereklidir. Osilasyonel nöral topluluklar kuramına göre, entegrasyon, hem beyin yapılarının arasında hem de bilişsel fonksiyonlara özel OİO’ların entegrasyonunu içerir. Bu ise, her bir bilişsel fonksiyonun farklı bir ERO’lar örüntüsü ile temsil edilmesi anlamına gelir.

Varela [51] büyük boyutlu entegrasyon mekanizmaları, bilişin koherent davranışı için beynin yaygın anatomik ve işlevsel organizasyonunu irdeler demektedir. En akla yatan mekanizmanın birden çok frekans kanalında dinamik bağlantılar olduğunu belirtmiştir. Bu görüş, Başar’ın [1, 3, 5, 52] önerdiği Olay-ilişkili osilasyonlar ve süperpozisyon prensibiyle uyumludur. Entegratif beyin işlevleri *uzay-zamansal organizasyon* olarak tanımlanabilir. Süperpozisyon prensibi, değişik frekans bantlarındaki osilasyonların genlik ve fazların arasındaki zaman boyutundaki entegrasyon ilişkilerini ifade eder. Ayrıca, nöral topluluklar arasındaki seçici dağıtılmış ve seçici koherent osilasyon aktiviteleri uzaysal boyuttaki entegrasyonu ifade eder. Buna göre, entegratif aktivite, beynin uzaysal konumları arasındaki koherens işlevidir. Bu koheranslar, uyarının tipine ve/veya bilişsel olaya veya olasılıkla türlerin bilinçliliğine göre değişim gösterir [3, 4].

2.3.3.1 OİO Tepkileri

2.3.3.1.1 Delta Frekans Bandı

0.5–3.5 Hz aralığında ve 500 ms zaman dilimi içinde beynin yüzeyinden yaygın şekilde elde edilen bir OİO tepkisidir. Delta bandı ayırt etme görevinin yerine getirilerek uygun tepkinin olduğu paradigmalarda elde edilir. Delta tepkisi, bilinçli ve bilişsel çaba ile ilişkilidir. Delta yanıtı, uyarandan sonra kayıtlanan P300 ile de elde edilmektedir.

Literatürde delta tepkilerinin incelendiği çalışmalara bakılacak olursa;

Görsel seyrek uyaran paradigmlarında, hedef uyarana karşı en yüksek genlikli yanıtlar pariyetal alanda bulunurken, işitsel hedef uyarılar için en yüksek genlikli yanıtlar sentral ve frontal alanlarda bulunmuştur [2, 3, 53].

Bilişsel işlevleri incelemek üzere yapılan seyrek uyaran paradigmlarında, delta yanıtının genliği deneyler sırasında oldukça yükselmektedir. Dolayısıyla, delta yanıtının uyarıları ayırt etme ve karar verme ile bağlantılı olduğu sonucuna varılmıştır [3].

İnsanlar üzerinde yapılan deneylerde, duyma eşikindeki uyarana karşı delta yanıtları gözlenmiştir [2, 3].

Mismatch negativity paradigmlarında uyarana karşı beyin yanıtları, anlamlı bir teta yanıtı ile üst üste binmiş gecikmiş bir delta yanıtı ile şekillendiği gözlenmiştir [7].

Faz kilitli delta yanıtları muhtemelen uyuyan kedi ve insan beyinde majör işlem yapan sinyaller olarak kabul edilmiştir [1, 3, 54].

2.3.3.1.2 Teta Frekans Bandı

3-8 Hz frekansında olan, 250-1000 ms'ye kadar etkinlik gösterebilen bir OİO bileşenidir. Teta tepkisi, seyrek uyarılara veya atlanan uyarılara karşı elde edilmektedir. Teta tepkisi ayrıca göreve ilişkin bir tepkinin yapılması durumunda kaydedilmektedir. Bu doğrultuda erken teta, kısa süreli bellekte bellek şablonuna uyan uyarıların, duyuşsal kayıttan seçilmesi ile ilişkilidir. Teta tepkisinin erken kısmı N200 bileşeni ile birlikte elde edilmektedir. Geç teta karar vermenin zor olduğu, görevi yerine getirmek için fazla çaba harcandığı durumlarda yani zor bilişsel işlevlerde görülmektedir. Bu geç teta tepkisi ise P300 bileşeni ile ilişkilidir.

Deneyşel veriler, olay-ilişkilili teta osilasyonlarının bilişsel süreçler ve kortiko-hippokampal etkileşimler ile ilişkilili olduğunu göstermektedir [3, 55, 56]. Teta, kedi denemelerinde P300-benzeri yanıtlarda en kararlı bileşendir [2, 3, 57].

Bimodal duyuşal uyararı, frontal bölgede teta yanıtında büyük artışa neden olur, böylece kompleks olayların frontal teta işlevine ihtiyaç gösterdiği anlaşılır [2, 3, 57].

Olay-ilişkilili teta osilasyonları, seyrek uyararı (Oddball) deneylerinde uzamıştır ve/veya hedef uyararıdan yaklaşık 300 ms. sonra ikinci bir zaman penceresi vardır. [45, 58, 59].

Olay-ilişkilili teta yanıtları, bir uyararı verildiğinde uygun olmayan (inadequate) bölgede de gözlenir. Örneğin görsel uyararı verilerek yapılan deneylerde primer işitsel bölgede de yanıtlar oluşabilmektedir [45].

Yönelme (orienting) bilgi işlemlemeye yönelik tetikte olmak (alertness), uyanıklık (arousal) ve hazır olma (readiness)'yı içeren eşgüdömlü bir yanıt olup teta osilasyonu ile ilişkilidir. Başarı ve grubunun yapmış olduğu deneylerde; araştırma, keşfetme ve motor davranış sırasında da teta osilasyonunun ortaya çıktığı gözlenmiştir [2, 3]. Zaman-kilitli teta yanıtı insan bellek performansında bireyler arası farklılıkları yansıtır [60].

Yukarıda bahsedilen yayınlar, teta frekansının beyinde kompleks işlevler ve bilişsel süreçler ile yakından ilgili olduğunu göstermektedir.

2.3.3.1.3 Alfa Frekans Bandı

8-13 Hz arasındadır. Uyararı ilişkili duyuşal alanlardan kaydedilir. Bilişsel süreçten ve yapılan tepkinin niteliğinden bağımsız olarak tüm deneysel paradigmlar altında elde edilir. Uyararının fiziksel özelliğine bağılı olarak ortaya çıkmaktadır. Alfa tepkisi genel uyarılmışlık hali ile yakından ilgili N100 bileşeni ile birlikte görülür. Faz açısı bakımından beynin uyararı karşı tepkililiğini yansıtır [40].

Uyararı-öncesi bölümünde bir beklenti (hazırlık) ritmi olarak da elde edilebilmektedir [3]. Uyararının duyuşal kayıttan seçilerek kısa süreli belleğe getirilmesi ile ilişkilili olduğu düşünülmektedir.

Literatürde alfa frekansı bandı ile yapılan çalışmalar incelendiğinde;

Alfa frekansı, insanda oksipital bölgede, ışık uyarana karşı elde edilmiştir [61, 62, 63]. İşitsel uyarana karşı alfa yanıtları da kedi deneylerinde, kedinin korteksinde primer işitme alanından, talamus, retiküler formasyon, inferior kollikulus, hippokampus ve serebellar korteksinden elde edilmiştir [34, 35, 64].

Alfa ritmi, “dinlenme ritmi”, “mu ritmi” gibi çeşitli tanımlara sahiptir [65]. EEG çekimi sırasında gözler kapalı iken gözlenen alfa osilasyonu, gözün açılmasını takip eden süreçte yerini alfa blokajına bırakmaktadır [66].

Hareket ve bellekle ilişkili olarak, alfanın ‘Olay-ilişkili senkronizasyon/ERS’ ve ‘olay-ilişkili desenkronizasyon/ERD’ terimleri, Pfurtscheller ve grubu tarafından kullanılmış olup bununla osilasyonel potansiyellerin koherasyonunun az veya çok olması tanımlanır [67].

Kedi işitme ve görme yollarında modaliteye uygun olarak, alfa yanıtları (300 ms de 10 Hz) filtrelenmeden bile gözlenmektedir [68, 69] ve bu wavelet analizi ile de gösterilmiştir [2]. Deney hayvanlarında derin elektrotlar ile işitsel sinyale karşı elde edilen alfa dalgaları çok iyi zaman-kilitlenmesi gösterir [35, 70]. İnsanda yapılan deneylerde de işitsel uyarana karşılık saçlı deri üzerinden zaman-kilitli alfa yanıtları elde edilmiştir [71].

Optik nöritli Multiple Skleroz hastaları, görsel uyarılara azalmış alfa yanıtı vermişlerdir. Bu durum, duyuşal alfa işlevine işaret eder şekildedir [72, 73].

Talamo-kortikal devreler yanında hippokampal ve retiküler 10 Hz yanıtları modaliteden bağımsız olarak (supra-modal işleve işaretle) gözlenmektedir [3].

Bilişsel hedeflerde alfa yanıtları P300’ü belirgin olarak etkilemektedir. Seyrek uyarın paradigması kullanarak 400 ms’e kadar uzamış alfa yanıtları gözlenmiştir [2, 3].

İyi eğitilmiş deneklerde beklenen hedef uyarandan 1 saniye kadar önce belleğe ilişkili alfa gözlenebilmektedir. Bazı çalışmalar [55, 74], alfanın çalışma belleği ve olasılıkla uzak bellek ile de yakın ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Alfa aktivitesi memelilere özgü değildir: *Helix pomatia* ve *aplysia* gibi canlıların izole ganglionlarında spontan ve elektrik uyarıyla 10 Hz osilasyonlar kaydedilmiştir [3, 75, 76].

Alfa osilasyonlarının hem senkronizasyon hem de desenkronizasyonlarının beraber görülmesi [67] alfada çoklu işlevlere işaret ediyor olabilir. Önden yüksek genlikli spontan alfanın alfa-blokajı, düşük genlikte ise yüksek UP amplitüdü görülmesi buna örnek verilebilir [2].

2.3.3.1.4 Beta Frekans Bandı

Beta osilasyonları ve ilgili işlevleri genellikle diğer hızlı frekans bandındaki gamma osilasyonlarının gölgesinde kalmıştır. Literatürdeki göreceli olarak sınırlı beta çalışmalarında öne çıkanlar şunlardır: Görsel dikkat [77], duyuusal bellek [78], eksitasyon-inhibisyon [79], bilişsel işlevler [80], geri çağırma ve tanıma (familiarity) [81]. Yine sıklıkla motor hareket (el, bilek, parmak vb. hareketleri) çalışmalarında beta yanıtları sunulmaktadır [82, 83]. Bressler ve ark. ları maymun beyinde yaptığı görsel uyarana karşı pedalla yanıt alınan bir çalışmada, pre ve postsentral bölgeleri bağlayan betaya senkronize büyük çaplı bir ağ (large-scale network) göstermiştir [84]. Ayrıca, primer somatosensoriel ve posterior pariyetal korteksin motor korteksle olan etkileşimleri gösterilmiştir.

Başar ve ark. 1970'li yıllarda basit ışık uyarısına karşı, kedi beyinde derin elektrotlardan yapılan kayıtlarda, oksipital korteks, lateral genikulat çekirdek, superior kollikulus, retiküler formasyon ve hippokampüste beta yanıtlarının varlığını göstermişlerdir [1]. Bu açıdan bakıldığında ve tüm osilasyonların çoklu fonksiyonlara sahip olduğu göz önüne alındığında, Egner ve Gruzelier'in [85] ifade ettiği şekilde beta yanıtları sadece bilişsel işlevlerde ortaya çıkmak zorunda değildir. Basit bir ışığa olan yanıtta da bu yanıtın çıktığı görülmektedir. Ancak bilişsel yük beta yanıtlarında farklılık göstermektedir ve bu da farklı iki yüzün ayırt edilmesine olanak sağlayabilir [86].

Beta yanıtlarının kararlı EEG bileşenlerinden birisi olduğu, hatta GABA_A reseptörü ile bağlantısı ile alkoliklerde belirteç olarak kullanılabileceği linkaj çalışmaları görülmektedir [87, 88].

2.3.3.1.5 Gamma Frekans Bandı

Gamma tepkisi 28–70 Hz frekans alanında beyin özellikle fronto-sentral alanlarından kaydedilen bir OİO tepkisidir. Uyarandan ilk 150 ms içinde elde edilen erken gamma tepkisi, farklı bilişsel süreçleri tetiklemede kullanılan deneysel paradigmların tümünde, aynı genlik ve frekansta elde edilmektedir. Uyarana zaman-kilitlenmesi gösterir.

Gamma tepkisinin 150–400 ms’de elde edilen geç bölümü karmaşık bellek tarama paradigmlarında, KSB’deki bilginin USB’deki bilgileri taramada kullanıldığı yani bilginin içeriğinde değerlendirildiği sözel bellek görevlerinde, çoklu-kararlığa sahip belirsiz şekillerin algılanmasında elde edilmektedir. Duyusal kayıtlarla ilgili erken gamma tepkisinden farklı olarak geç gamma tepkisi uyarana zaman-kilitlenmesi göstermez [40].

Literatür ışığında gamma frekans bandı çalışmalarına baktığımızda;

Kedi görme korteksinde işlevsel bir kolonda 40–60 Hz’de oluşan senkronizasyon önemli örneklerdendir [89, 90]. Bu tür uyarılmış osilasyonların “binding problemi”ndeki olası mekanizma olduğu öne sürülmüştür. Ancak bu teori, yine de gammaların yaygın olarak görülmesini açıklamakta yetersizdir [91, 92]. Bu nedenle, deneysel bulguları göz önüne alarak (kısmen Adrian’a geri dönerek) [93], kabaca yanıtları duysal (zorunlu) ve bilişsel gamma olarak ayrılabilir. İşitsel ve görsel gamma yanıtları değişik kortikal ve subkortikal yapılara seçici olarak dağılmıştır. Kedi hippocampus, korteks, beyin sapı ve serebellumunda duysal uyarıdan 100 ms sonra ortaya çıkan ve ikinci pencereyi yaklaşık 300 ms de yapan, uyarılmış potansiyellerin faz kilitli ve istikrarlı bileşenleridir [1, 3, 92].

İnsan işitsel ve görsel yanıtlarında da faza kilitli gamma osilasyonları vardır [1]. Çeşitli paradigmlar, uyarandan sonraki ilk 100 milisaniyede oluşan 40 Hz yanıtının, bilişsel işlevlerden bağımsız, duysal kökenli olduğunu göstermiştir [94]. İşitsel MEG gamma yanıtları da, EEG ile orta gecikmeli işitsel uyarılmış potansiyellerin ilişkisine benzer niteliktedir [95, 96]. Ayrıca, Helix pomatia viseral ganglionunda erken, faza kilitli 40 Hz yanıtı kaydedilmiştir [76].

Kognitif gamma ile ilgili bazı alışmalar P300 dalgasının ölölmesine dayanmaktadır. Bu pozitif sapma, tipik olarak seyrek uyaran veya atlanan uyaran paradigmlarında -bir seri uyaranın arasına serpiştirilmiş hedeflerdeki- görülmektedir. Daha yavaş 4 Hz bir dalgaya süperempoze 40 Hz yanıt, işitsel atlanan uyaran paradigması ile, kedilerde yapılan deneylerde hippocampus, retiküler formasyon ve kortekste 300 ms de kaydedilmiştir ve P300-40Hz bileşeni olarak tanımlanmıştır [97]. Benzer şekilde, seyrek uyaran paradigmasında P300-40 Hz bileşeni insan kayıtlarında da gözlenmiştir [98]. Ancak başka bir çalışmada, hedef uyarandan sonra 40 Hz supresyonu gözlendiği de rapor edilmiştir [99].

Dikkate yönelik çalışmalarda 40 Hz yanıtları, frontal ve santral bölgede en yüksek genlikte yanıtların oluşması ile gözlenmiştir [100].

İnsan frontal EEG gamma etkinliğinin dönüşebilen veya belirsiz (ambiguous) şekil uyaranları esnasında %50 kadar arttığı bildirilmiştir [49]. Gamma bant aktivitesindeki uzay-zamansal magnetik alan paternleri, koherent rostrocaudal aktivite sprmleri olarak yorumlanmıştır [101].

Gamma yanıtları, büyük olasılıkla Santral Sinir Sistemi haberleşmesinde evrensel bir kodu temsil etmektedir [2, 3].

3. GEREÇ ve YÖNTEMLER

3.1 Çalışma Evreni

Yüz Tanıma deneyleri 28, görsel seyrek uyaran paradigması 24, işitsel uyaranla seyrek uyaran paradigması 23 olmak üzere, çalışmaya yetmişbeş kişi alınmıştır. Dokuz kişi, kayıtlardaki bozukluklar nedeni ile çalışma dışında bırakılmıştır. Analize, 26 Yüz Tanıma deneyi kaydı, 20 görsel, 20 işitsel seyrek uyaran paradigması deney kaydı alınmıştır.

Bütün paradigmalarda deneylere, deney yapılan zamana kadar herhangi bir nörolojik, psikiyatrik, kronik hastalık tanısı almamış ve sürekli kullandığı ilaç olmayan kişiler alınmıştır. Bilişsel süreçleri etkileyen herhangi bir ilaç kullanımı olan veya uzun süre kullanmış olup kısa bir süre önce bırakmış olan bireyler denemelere alınmamıştır. Bireylerin bir gün önceki alkol, ilaç alımı sorgulanmıştır. Bireylerin görmeleri normal veya gözlük/lens ile normal hale getirilmiştir. İşitme ile ilgili patoloji yönünde aldıkları herhangi bir tanıları yoktur. Tümü sağ el dominanttır. Bireyler hakkındaki bilgi Tablo 1’de verilmiştir.

“Yüz Tanıma” Deneyleri: Almanya Bremen Üniversitesi öğrencilerine duyuru yapılmış ve gönüllü olanlar deneylere alınmıştır. Değerlendirmeye, 15–36 (ort. 24.5) yaşları arasında 26 kişi alınmıştır. Onbeşi kadın, onbiri erkektir.

“Seyrek Uyaran” Deneyleri: Deneyler Dokuz Eylül Üniversitesi Beyin Dinamiği Multidisipliner Araştırma Merkezi ve Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarlarında yapılmıştır. Biyofizik AD’a ders almaya gelen veya Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu’nda okuyan öğrencilere deneyler hakkında bilgi verilerek katılmaları yönünde sorulmuş ve kabul edenler ölçümlere alınmıştır.

“Görsel Seyrek Uyaran Deneyleri”ne alınanların 9’u kadın, 11’i erkek olup yaşları 18-27 (ort. 22.8) arasında değişmektedir. “İşitsel Seyrek Uyaran Deneyleri”nde değerlendirmeye alınanların 13’ü kadın, 7’si erkek olup yaşları 19-27 (ort. 22.55) arasında değişmektedir.

Tablo 1 Deneylere katılan bireylerin bilgileri

	Yüz Tanıma	Görsel Seyrek Uyarı	İşitsel Seyrek Uyarı
Katılan Kişi	26	20	20
Yaş	24.5 (15–36)	22.8 (18–27)	22.55 (19–27)
Cinsiyet (kadın/erkek)	15 / 11	9 / 11	13 / 7
El tercihi (sağ/sol)	26/0	20/0	20/0

3.2 Ölçüm Odası Özellikleri ve Ölçümün Gerçekleştirilmesi

Veri toplanmasında ve analizinde; Almanya “Bremen, Institute of Psychology and Cognition Research & Center for Cognitive Sciences” Laboratuvarları, Dokuz Eylül Üniversitesi Beyin Dinamiği Multidisipliner Araştırma Merkezi ve Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarlarında mevcut olan sistemler kullanılmıştır. Her iki birimde de mevcut olan sistemler aynı düzenekleri içermekte ve benzer koşullar altında deneyler yapılmaktadır.

Deney süresince, deneyi yapan kişi sistemlerin bulunduğu bir laboratuvardadır ve deneye alınan bireyler özel bir odada (izole oda) bulunmaktadır (Şekil 4 A, B, C). Deneye katılan kişi ile haberleşme, iki oda arasında varolan ses sistemleri ile sağlanmıştır ve deney sürecinde bireyler kamera ile izlenmişlerdir.

Bireyler, ölçüm hakkında bilgilendirildikten sonra ölçüm odasına alınmışlardır. Bu oda elektromanyetik alan etkilerini en aza indirmek üzere Faraday Kafesi ile örülüdür ve ayrıca dış ortamdaki seslerden arındırmak amacı ile duvarlarda akustik malzeme kullanılarak ses yalıtımı sağlanmıştır. Kayıt odasında EEG Elektrot bağlantı kutusu, hoparlör, dijital kamera ve monitör bulunmaktadır. Kayıtlar esnasında oda loş ışık ile aydınlatılmıştır. Bireylere mümkün olduğunca hareket etmemeleri ve gözlerini kırpmamaları söylenmiştir ve ölçüm süresince de bu duruma dikkat edilmiştir. Elektrookülografi (EOG) kaydı ile bu göz hareketleri izlenmiştir ve belirli bir eşiğin üzerindeki kayıtların sonrasında deney yürütücüsü tarafından off-line ayıklanmıştır.



Şekil 4 Kayıt Donanımı

A) İzole iç deney odasında bireye elektrot bağlantıları yapılırken B-C) EEG kayıt, analiz ve senkronizasyon modülleri gösterilmektedir.

Şekil 5 de görüldüğü gibi, elektrot bağlantı şeması uluslararası 10/20 sistemine göre kullanılmıştır [102]. Elektrot pozisyonu olarak frontal bölgede F_z , F_3 , F_4 , sentral bölgede C_z , C_3 , C_4 , parietal bölgede P_3 , P_4 , temporal bölgede T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , oksipital bölgede O_1 , O_2 , göz artefaktları için EOG ve uyarı kanalı (trigger) ana şema olarak uygulanmıştır. (A1+A2) ortak referans alınmış ve elektrotlar kulak memesine bağlanmıştır.

Kayıt ve analiz aşamalarında kullanılan cihaz ve programlar; Nihon Kohden 10 kanal Analog EEG (EEG-7410K) ve Nihon Kohden 32 kanal dijital EEG (Neurofax/CA-0051) cihazları, National Instruments PCI-6025 E I/O, BNC kutusu ve SCSII konnektör, Braindata-Ver 3.25 (16 kanallı) ve MATLAB yazılım ortamı idi. MATLAB ortamında kullanılan uyarı ve analiz programları; Doç. Dr. Murat Özgören tarafından yazılan programlardan uyarlanmışlardır. Bu EEG kayıt ve analiz cihazlarının tümü eş zamanlı olarak çalışmaktadırlar.

Bu donanımda, analog kağıt kayıt hızı 15 mm/sn ve zaman sabitesi 0.3 olarak ayarlanmıştır. Elektrot empedansları 5 k Ω altında tutulmuştur.

Paradigmalarda, aynı birey üzerinde, farklı uyaranlar gösterilerek, tekrarlayan ölçümler yapılmıştır.

3.3 Paradigmaların Uygulanması

3.3.1 “Yüz Tanıma” Paradigması

Ölçümlerde üç farklı uyaran kullanılmıştır.

1. Kişinin kendi büyükannesinin fotoğrafı
2. Herhangi bir yaşlı kadın fotoğrafı

3. Kontrol uyaranı olarak bir basit ışık sinyali kullanılmıştır (Şekil 6). Bu uyaranın luminans değeri yaklaşık 30 cd/m² olarak belirlenmiştir. Kullanılan fotoğraflarda da luminans değeri ışık ile aynı düzeylere getirilmeye çalışılmıştır. Fotoğraflar, siyah beyaz olarak ve 17x17 cm olarak gösterilmiştir. Uyaranın süresi 1000 ms olarak ayarlanmıştır ve uyaranlar

arası süre 3.5–6.5 ms’dir. Uyarıların gösterildiği monitörün uzaklığı 120 cm olarak ayarlanmıştır. Görme açısı 8.1 derece olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6 Yüz uyaran fotoğrafları

Deneye alınan bir bireye gösterilen büyükanne resmi ve bilinmeyen yaşlı kadın resmi

Ölçümün aşağıda belirtilen 3 bölümü bulunmaktadır:

I. Spontan EEG kaydı

60 sweep (süpürüm) gözler açık, 60 sweep gözler kapalı durumda spontan EEG kayıtlanmıştır. Kayıt esnasında gözler açıkken bireyin ekranda belirli bir noktaya sürekli bakması istenmiştir.

II. Random (rastgele, seçkisiz) uyarı aktivitesi kaydı (toplam 90 uyaran)

- | | |
|--|-----------|
| 1. Basit ışık sinyali | 30 uyaran |
| 2. Yaşlı kadın fotoğrafı | 30 uyaran |
| 3. Bireyin kendi büyük annesinin fotoğrafı | 30 uyaran |

Önce bu görüntüler rastgele bir sıra ve 3.5–6.5 ms den oluşan rastgele aralıklarla sunuldu.

III. Sıralı sunum (toplam 90 uyaran)

- | | |
|--|-----------|
| 1. Basit ışık sinyali | 30 uyaran |
| 2. Yaşlı kadın fotoğrafı | 30 uyaran |
| 3. Bireyin kendi büyük annesinin fotoğrafı | 30 uyaran |

Bu görüntüler sıralı olarak ancak 3.5–6.5 ms’den oluşan rastgele aralıklarla sunulmuştur.

3.3.2 Seyrek Uyarın Paradigması

Paradigma, görsel ve işitsel uyarınlar kullanılarak yapılmıştır. Görsel olay-ilişkili potansiyeller ve işitsel olay-ilişkili potansiyeller ölçülmüştür.

İster görsel ister işitsel paradigma olsun, deneylerde iki çeşit uyarın kullanılmıştır: sık olarak verilen standart uyarınlar (hedef-olmayan, non-target) ve seyrek uyarınlar (hedef, target). Olay ilişkili potansiyellerin ölçülmesinde sık uyarınlar seyrek uyarınlar arasına seçkisiz (randomize) yerleştirilmiştir. Deneyler üç aşamadan oluşmuştur:

I. Spontan EEG kaydı: “Yüz Tanıma” paradigmasındaki aynı koşullarda alınmıştır.

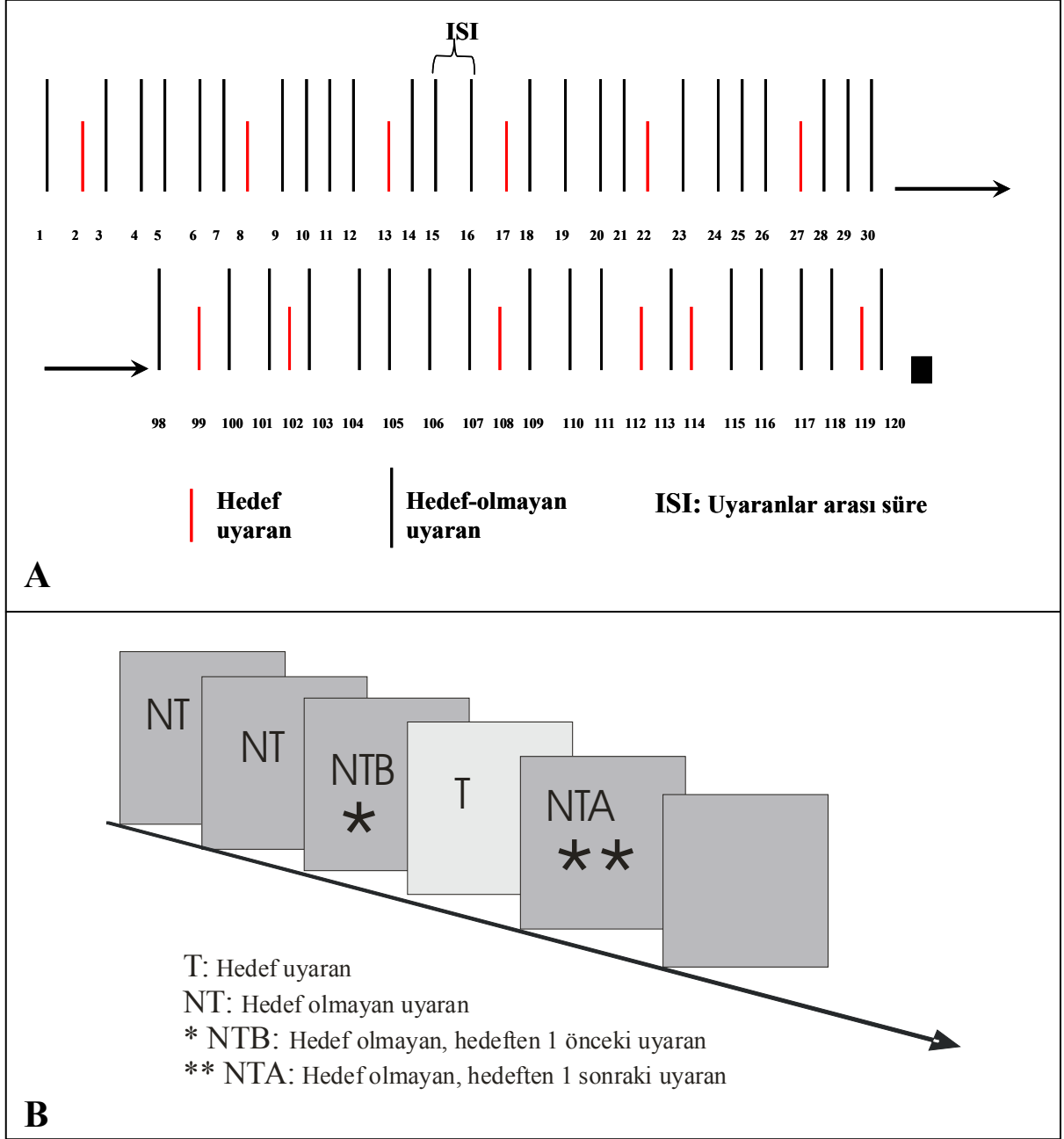
II. Uyarılma Potansiyeli kaydı: Deneye alınan bireye herhangi bir görev verilmeksizin ard arda aynı uyarın 60 kez verilmiştir. Verilen uyarın olay ilişkili potansiyellerin ölçülmesinde kullanılan standart uyarındır. Deneye alınan bireyden, görsel paradigmada uyarını sadece izlemesi, işitsel paradigmada ise uyarını sadece dinlemesi istenmiştir.

III. Olay İlişkili Potansiyellerin kaydı: Uygulanacak olan deneysel paradigma kayıt başlamadan önce bireye anlatılır. EEG kayıtlaması yapmaksızın birey bir süre izlenerek ödevi yerine getirip getiremediği kontrol edilir, gerekiyorsa yardımcı açıklamalarda bulunulur, konsantrasyon ve kooperasyonu değerlendirilmeye çalışılır. Bu eğitim uygulamasında seçkisiz sıra ile sunulmuş olan seyrek ve standart uyarınlar (toplam 20 uyarın) uygulanır. Daha sonra 32 adet seyrek uyarın, 88 adet standart uyarından (toplam 120) oluşan paradigma uygulanır. Bireyden işitsel paradigma için daha seyrek ve tiz olan hedef sesleri sayması istenmiştir. Görsel paradigma da ise; daha seyrek ve parlak olan hedef uyarını sayması istenmiştir (Şekil 7). Sayma işlemi mental olarak gerçekleştirilmiştir.

Uyarın Özellikleri:

Görsel paradigmada; standart uyarın olarak luminans değeri 35cd/m^2 olan basit ışık sinyali kullanılmıştır. Hedef uyarının luminans değeri standart uyarından % 20 daha düşüktür. Uyarının gösterildiği monitör bireyden 120 cm uzaklıktadır.

İşitsel paradigmada; standart uyaran olarak 1500 Hz tonunda 80dB, hedef uyaran olarak 1600 Hz tonunda 80 dB ses uyaranları kullanılmıştır.



Şekil 7 Seyrek uyaran paradigmasında uyaranların verilme dizilimi

A) Uyaranların kendi içerisinde dağılım oranı %25 hedef uyaran (kırmızı renkte), % 75 hedef olmayan oranlarında uygulanmıştır. Hedef/hedef olmayan uyaran veriliş sırası *psuedorandom* şeklindedir. Uyaranlar arası süre (ISI), 3.5-6.5 sn arasında *gerçek seçkisiz yerleştirmeli* (*randomize*) uygulanmıştır.

B) Hedef öncesi ve sonrası, hedef-olmayan uyaranın uygulanması, **A'da** şematize edilen çerçevede uyaranların hedef- uyaran öncesinde veya sonrasında yer almalarına göre yapılan ayırlama, öğrenme stratejilerinin çalışılmasında kullanılmaktadır.

3.4. Analiz

3.4.1 Verilerin İşlenmesi

Analog kayıt sistemleri, elektriksel girdide aktivitenin olduğu gibi kaydedilmesini sağlar ve temelde herhangi bir çevirim yapmazlar. Böylece, kayıtlanan aktivitenin incelenmesi, depolanması ve gerektiğinde tekrar bulunarak işlenmesi zordur. Bilgisayar ortamında işlenebilir veri elde etmek için analog EEG verisinin sayısallaştırılması gerekir. Sayısallaştırma basitçe analog yükseltilemiş EEG'nin belirli zaman aralıklarıyla ölçülerek sayı dizisine dönüştürülmesi anlamına gelir. Sayısallaştırma için iki parametre vardır:

1. Örnekleme hızı (sampling rate)
2. Nicelleştirme çözünürlüğü (quantification precision)

Sayısal (digital) sinyal işleme sistemleri ise kayıtlanan aktivitenin uzun süre saklanmasına olanak sağlar. Kayıtların incelenme süresi analog sistemlere göre daha kolay ve kısadır. Bu kayıtlar Brain Data ve MATLAB programları ile çevrilerek, sayısal bilgi olarak analiz aşamasına alınmışlardır. Genlik Frekans Karakteristiği (AFC), Hızlı Fourier Transform (FFT) ve diğer metotlarla uyaranlara tepkilerin frekans, zaman boyutu bilgileri ve diğer osilatif bileşenleri için ayrıştırmalar yapılmıştır.

Olaya kilitli olarak yapılan EEG kaydının iki temel dönemi vardır: Uyaran öncesi (prestimulus) ve uyaran sonrası (poststimulus) dönemler. Uyaran sonrası dönem EEG'de uyarana özgü değişiklikleri gözlemek üzere kaydedilirken, uyaran öncesi dönem uyaranın öncesindeki bazal EEG aktivitesi veya beklentisel bir etkiyi gözlemek üzere kaydedilir.

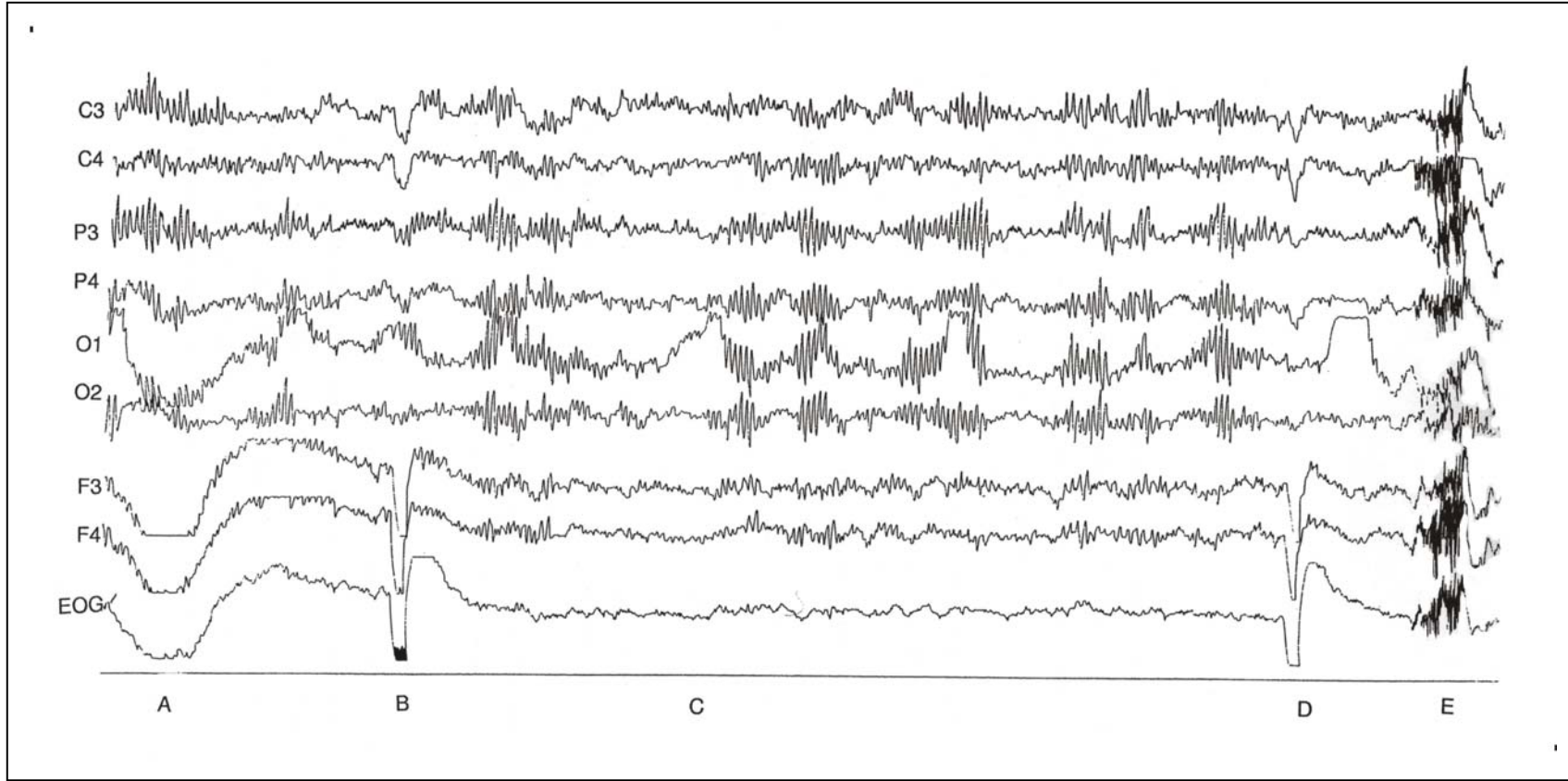
Kayıtlarda, uyarı öncesi 1000 ms ve uyarı sonrası 1000 ms kayıt bölgeleri elde edilmiştir. Süpürüm (sweep) denen bu kayıt bölgelerinin her biri 1024 noktadan oluşmaktadır ve uyaranın verildiği nokta 512 dir. İncelemelerde uyaran sonrası 1000 ms içinde değişik zaman dilimleri incelenmiştir. Delta frekans bandı için 0–800 ms, teta ve alfa frekans bantları için 0–500 ms incelemeye alınmıştır.

Verilen farklı uyaranlar birer alt grup oluşturularak, herbiri kendi içinde incelemeye alınmıştır. Ardışık tek kayıtlar (single sweep) ve konvansiyonel (online-çevrimiçi) ortalamalar deneyler boyunca izlenmiştir.

EEG çekimi sırasında, beyin dışındaki çeşitli ortamlardan kaynaklanan gürültüler kaydı bozar. OİP yanıtlarının daha net görülebilmesi için, ortalama vb işaret işleme aşamasından önce gürültünün yer aldığı bu bölümlerin mutlaka ayıklanması gerekir. Artifaktlar çeşitli nedenlere bağlı olarak oluşabilir. Bunlar kimi zaman deneğe, kimi zaman kayıt cihazına ve elektrik şebekesine bağlı olarak gelişir. Artifaktlar temel olarak;

- Biyolojik Artifaktlar (Kas ve göz hareketleri, elektrokardiografi, terleme, pulsasyon)
- Harekete bağlı artifaktlar
- Elektrotlara bağlı artifaktlar
- Şebekeye bağlı artifaktlar (Radyo dalgaları, elektrostatik artifakt, şehir cereyanı gürültüsü)
- Kayıt cihazında bozukluğa bağlı artifaktlar gibi gruplanabilir.

Yapılan deneylerde, artifaktı çok olan deneyler analiz dışında bırakılmıştır. Öncelikle kayıtlardan göz kırpmaya, kas hareketine, terlemeye ve bazen bağlantılarda oluşabilen sorunlara ait artifaktlar, bilgisayar aracılığı ile online değil, analizi yapan kişi tarafından incelenerek ‘offline’ olarak uzaklaştırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8 EEG çekimlerinde gürültülerin (artifaktların) temizlenmesi koşulları

A: terlemeye, B: göz hareketi, C: sadece O₁ üzerinde terleme, D: göz hareketi, E: kas gürültüsü gibi gürültü örneklerine yer verilmiştir.

Bireye aynı uyarının verilmesi sonucu oluşan yanıtların her elektrot alanında ortalaması alınmıştır (Average). Sayısal değerlere çevrilen sinyallerden oluşan herbir süpürümün analiz işlemi sırasında ortalamalarının alınması, bu sinyal içine karışan, rastgele ortaya çıkan ve kayıtlanan aktiviteyle ilgisi olmayan sinyallerin küçültülmesini ve kaydedilen sinyalin belirginleşmesini sağlar. Beyinde oluşan yanıtların genel eğilimini göstermek için, deneye katılan tüm bireylerin beyninden kaydedilen ve ortalamaları alınan tepkilerin herbir elektrot alanı için ortalaması alınır (Grand Average). Ortalama alma işlemleri de, bilgisayarlarda hazırlanmış uygun programlar ile yapılır. Ortalama alabilmek için uyarının verildiği an işaretlenmektedir. Uyarının öncesi ve sonrası, süpürümde yer alır. Süpürüm sayısı ne kadar fazla ise, o kadar iyi bir ortalama almak olasıdır. Araştırmamızda değerlendirmeler, bu ortalamaların ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Filtrelenecek aralıkların belirlenmesi için genlik frekans karakteristikleri kullanılmıştır.

3.4.2 Genlik Frekans Karakteristikleri (*Amplitude Frequency Characteristics = AFC*)

EEG'deki yanıtları yalnız Uyarılmış Potansiyeller ile incelemek kısıtlı kalmaktadır. Buna neden olarak frekans bilgisinin örtülü kalması verilebilir. Genlik bilgisi ile beraber, frekans özelliklerinin de incelenebildiği AFC analizi bize bu konuda bilgi sağlar.

Genel sistem teorisine göre, lineer bir sistemin frekans karakteristiklerine ait bilgiler “Transient” yanıtında bulunmaktadır (TRFC). Başka bir deyişle, sistemin transient yanıtı hakkındaki bilgi, sisteme sinüzoidal uyarılara yanıtının önceden belirlenebilmesine izin verir. Bu amaçla sistemin adım (step response) yanıtı $c(t)$ –bu koşulda ERP- biliniyorsa, sistemin $G(j\omega)$ frekans karakteristiği Laplas veya tek yanlı Fourier dönüşümüyle sağlanabilir:

$$G(j\omega) = \int_0^{\infty} \frac{d\{c(t)\}}{dt} \exp(-j\omega t) dt$$

($\omega = 2\pi f$, giren sinyalin frekansı f olmak üzere)

Sinyal çözümleme yaklaşımlarının amacı uygun bir dönüşüm uyguladıktan sonra, sinyalden istenilen bilgiyi elde etmektir. Uygulanan dönüşümün tersinir olması koşulu ile dönüştürülmüş biçimin orijinal sinyali bire-bir temsil etmesi gerekmektedir.

Özellikleri zamanla değişmeyen, yani durağan bir $x(t)$ sinyaline uygulanabilecek en uygun dönüşüm zaman uzayı ile sıklık (frekans) uzayı arasında bir ilişki sağlayan, formulün sayısal değerlendirmesinde FFT (Fast Fourier Transform) hızlı Fourier dönüşümü olmaktadır [103].

X_n ayrık zaman serisi olarak ($X_n = X(nDt)$, $T = ((N-1)Dt)$).

Y_k of X_n Fourier dönüşümü ile:

$$Y_k = Y(\omega_k) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp(-i2\pi N^{-1}nk); \quad \omega_k = 2\pi kT^{-1}$$

$Y_k = a_k + ib_k$ (geometrik ortalamaları genlik spektrumu olan kompleks Fourier katsayılar olmak üzere).

AFC göreceli birimlerle ifade edilir ve çalışılan frekans kanallarının amplifikasyonunu gösterir. Bu nedenle, AFC'deki bir tepe, sistemin frekans seçiciliğine ışık tutar ve uyarana yanıtta en tercih ettiği osilasyonları gösterir. Aynı zamanda, AFC tüm frekansların birlikte incelenmesine de izin verir [2].

3.4.3 Sayısal Filtreleme

Filtre, hızlı değişen (yüksek frekanslı) sinyalleri yavaş değişen (alçak frekanslı) sinyallerden ayıran elemanlara denir. Filtreler alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren olmak üzere sınıflandırılırlar. Filtreler sayısal veya analog olabilirler. Sayısal filtreler, bilgisayarlar yardımı ile ve teorik filtreler olarak işlev görürler [2].

Kullanılan filtrelerin limitleri içerisinde, osilasyon bileşenlerinin zaman içinde değişimleri “sayısal filtreleme” ile gösterilebilir. Elektronik filtrelerin aksine sayısal filtrelerde faz kaymalarına rastlanmaz. Bu çalışmalardaki sayısal filtreleme, Olaya İlişkin Potansiyellerin geçirme kuşağında filtrelenerek seçilen frekanslardaki Olaya İlişkin Osilasyonların çalışılabilmesi nedeniyle uygulanmıştır [7, 52].

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak delta, teta ve alfa frekans bantları incelenmiştir. Hedef uyaranlara karşı olan beyin yanıtları incelenmiş ve öğrenme süreci gibi bilişsel

fonksiyonlarda olası stratejiler araştırılmıştır. Bu araştırmalar esnasında kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmaktadır.

I. Çoklu Paradigmada Hedef Uyarılara Karşı Beyin Yanıtları (Topoloji) Ölçümünde Yöntem

1. Analizlerde uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar, farklı elektrot bölgelerinde (F₃, F₄, C_z, C₃, C₄, T₃, T₄, T₅, T₆, P₃, P₄, O₁, O₂) uyarı sonrası incelenen zaman dilimindeki en büyük sinyal değerinin (en büyük genlikli yanıt) bilgisayar programları aracılığı ile ölçülmesi ile belirlenmiştir. Elektrot bölgeleri arasındaki farklar incelenerek, beynin uyarılara karşı yanıtlarının topolojisi çıkarılmıştır.

2. Üç farklı paradigmanda beynin hedef uyarılara karşı vermiş olduğu tepkiler değerlendirilmiştir. Bu analizlerde de beynin anterior ve posterior bölgeleri ve iki hemisfer kıyaslaması (lateralite) öncelikli ele alınmıştır.

II. Öğrenme stratejilerini araştırmak için yöntemler:

1. Seyrek uyarı paradigmalarında, hedef olmayan (standart) uyarı ve hedef uyarı incelemeye alınmıştır ve üç farklı analiz yapılmıştır.

a. Standart uyarılardan başlangıçtaki ilk 30 süpürüm (1, 3, 4, 5, 6, 7,...) ve son 30 süpürüm (120, 118, 117, 116, 115, 113, 111, ...) seçilerek ortalamaları (average) alınmış ve klasik delta, teta ve alfa frekans bandında farkları incelenmiştir.

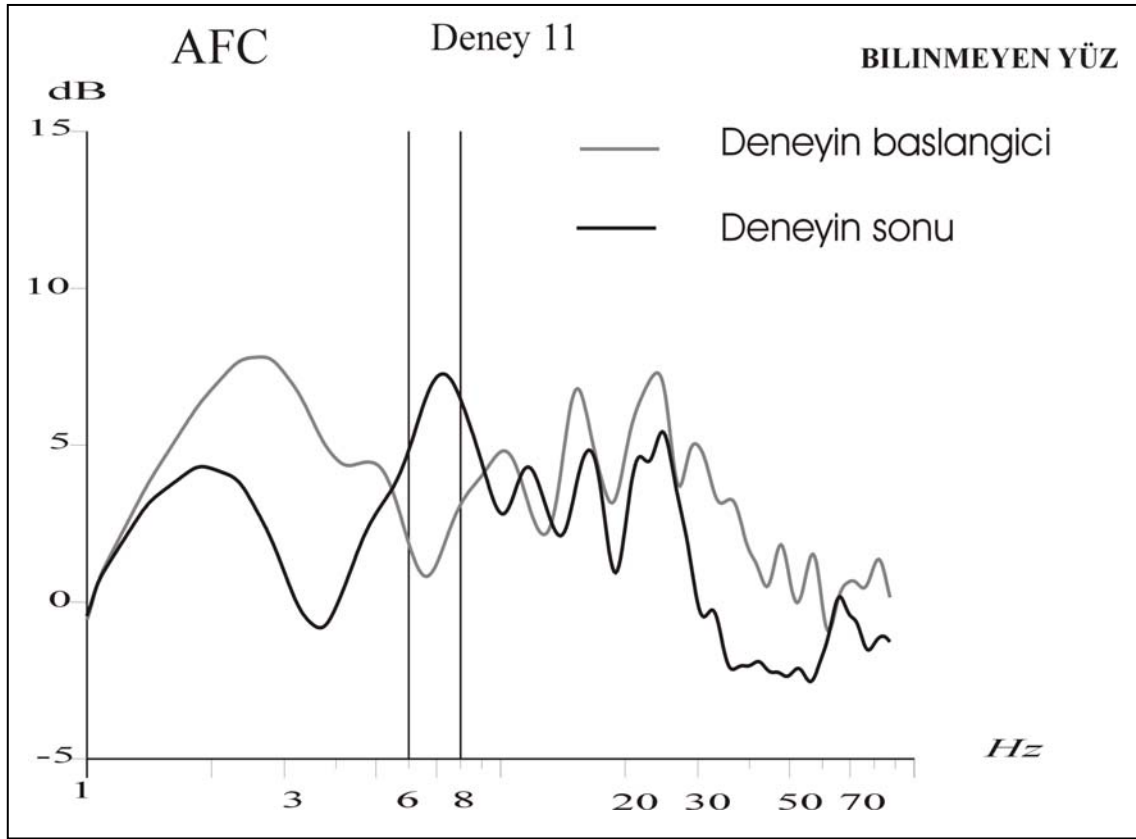
b. Hedef uyarılar iki alt gruba ayrılarak, denemelerin başlangıcı (2, 8, 13, 17, 22, 27,...) ile geç dönemi (119, 114, 112, 108, 102, 99, ...) süpürümler gruplanarak ve ortalamaları alınarak kıyaslanmıştır.

c. Herbir hedef uyarıdan bir önce verilen standart uyarılar ile hedef uyarıdan bir sonraki standart uyarılar seçilerek iki ayrı grup oluşturulmuştur. Bu iki grup arasındaki farklılıklar klasik delta, teta ve alfa frekans bandında incelenmiştir. Burada amaç, hedef uyarı beklerken ve uyarı geçtikten sonra beyinde oluşan değişiklikleri gözlemektir. Örneğin; hedef uyarı öncesi standart uyarılar (1, 7, 12, 16, 21, 26,....., 98, 101, 107, 111, 118) ve hedef uyarı sonrası standart uyarılar (3, 9, 14, 18, 23, 28,....., 100, 103, 109, 115, 120) gruplanmıştır (Bkz. Şekil 7).

2. Kompleks sinyal kullanılarak yapılan ‘Yüz Tanıma’ deneylerinde, bilinmeyen yüze karşı beynin oluşturduğu teta tepkileri incelenmiştir. Denemenin başlangıcında

gösterilen bilinmeyen yüz fotoğrafına karşı olan beyin tepkileri, deneyin ikinci aşamasında gösterilen fotoğraflara karşı olan beyin tepkileri ile karşılaştırılmıştır.

Bilinmeyen yüz resmine karşı beynin verdiği tepkilerde incelenecek frekans aralığını belirlemek için, bireylerin AFC'leri incelenmiş ve izlenen değişiklikler sonucunda, teta frekans bandı ikiye bölünmüştür. 3.5–6.5 Hz ve 6–8 Hz frekans aralığında filtrelenerek uyarandan sonraki ilk beşyüz ms'de ortaya çıkan yanıtların en büyük genlik değeri ölçülerek incelemeye alınmıştır. Aşağıdaki şekilde tipik bir bireyin AFC'si bulunmaktadır.



Şekil 9 Tipik bir bireyin bilinmeyen yüze karşı AFC verisi.

Sağ frontal kayıttan alınan yanıtlar dB skalası ve yatay ekseninde Hz olarak belirtilmiştir. Koyu siyah çizgi deneyin sonu, gri çizgi ise deneyin başındaki kayıtları göstermektedir. 6-8 Hz arasındaki noktalı dikey çizgiler ile farklılık irdelenmiştir.

3.4.4 İstatistiksel Analiz

Sayısal veriler, uyarı sonrası bir saniye veya farklı zaman dilimlerinde ölçülen, en büyük genlik (en büyük sinyalin iki ucu arasındaki uzaklığın μV cinsinden değeri) belirlenerek ölçüm değerleri üzerinden istatistik yapılmıştır. Aritmetik ortalama, standart sapmayı da kapsayan tüm istatistik çalışmaları "SPSS for Windows 10,0" (Statistical Package for Social Sciences, Chicago, IL, U.S.A) programı kullanılarak kişisel bilgisayarda yapıldı. Tüm karşılaştırmalarda yanılma olasılığı 0.05 olarak seçildi ve $p < 0.05$ olan veriler istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

İstatistiksel analiz, aynı kişinin kafasında iki farklı ölçüm alanının karşılaştırılması, iki farklı sinyalin karşılaştırılması, aynı sinyal için iki farklı zaman diliminin karşılaştırılması temelinde yapılmıştır. Çoklu paradigma analizlerinde, dört farklı uyarının karşılaştırması yapılmıştır. İstatistiksel analizde beyinde ortaya çıkan yanıtların ön/arka farkını gösterebilmek için; F_3-O_1 , F_4-O_2 elektrot bölgeleri ve sağ/sol hemisfer farkını gösterebilmek için ise F_3-F_4 , C_3-C_4 , T_3-T_4 , T_5-T_6 , P_3-P_4 , O_1-O_2 elektrot bölgeleri kıyaslanmıştır.

Çalışma evreninde 30 kişiden az birey bulunması ve verilerin standart sapmalarının büyük olması nedeni ile nonparametrik testler kullanılmıştır. Bağımsız ikili grupların karşılaştırılmasında nonparametrik Mann-Whitney U-testi, bağımlı iki grup verilerinin değerlendirilmesinde (örneğin, grupların önceki ve sonraki verilerinin değerlendirilmesinde) Wilcoxon testi kullanılmıştır.

Çoklu paradigma analizlerinde dört uyarı karşılaştırmak için Bonferroni düzeltmeli ANOVA testi kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Toplam 26 bireyin deneylere katıldığı yüz tanıma paradigması, 20 görsel uyaran ile yapılan ve 20 işitsel uyaran ile yapılan seyrek uyaran paradigmaları analiz edilmiştir. Onüç elektrodun uzaysal, temporal (zamansal), uyarana göre hedeflenmiş yanıtların bulguları çok kapsamlıdır. Bulguların, öğrenmenin ortaya çıkarılması amacı ile uyaran özelliğine (modalite), frekans yanıtlarına ve bazı öğrenme stratejileri alt gruplarına ayrılarak gösterilmesi hedeflenmiştir. Buna göre; öncelikle üç paradigma içinde, basit uyarandan kompleks uyarana sadece hedef uyaranlara ait sonuçlar gösterilmektedir. Her bir uyarana karşı yanıtların beyindeki seçici dağılımı gösterilmiştir. Bunun yanısıra, beyindeki sağ frontal ve sağ oksipital bölgeler ele alınarak, farklı hedef uyaranların bu lokalizasyonlardaki farklılıkları ortaya konmaktadır.

Öğrenme stratejilerinde ise; hem hedef uyaran/hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi hem de bilinmeyen yüzün öğrenilmesi sırasında oluşan değişiklikler aşağıda yer almaktadır.

4.1 Basit Uyarandan Kompleks Uyarana Beyinde Oluşan Osilasyonel Yanıtların Gösterilmesi (Çoklu Paradigma)

Aşağıda her bir paradigma için, tüm uyaranların (UP'deki standart uyaranlar, OİO'lardaki hedef ve hedef-olmayan uyaranlar) filtrelenmemiş, delta, teta, alfa frekans bandındaki yanıtlarının topolojisini gösteren şekiller bulunmaktadır. Ayrıca, hedef uyaranların, herbir ölçüm bölgesinde alınan ve deneylere katılan bireylerin osilasyonel yanıtlarının ortalamasını ve standart sapmalarını içeren tablolar yer almaktadır.

Topoğrafyaların gösterilmesinde, kortekste anterior (frontal) bölgeler ile posterior (oksipital) bölgelerin farkını gösterebilmek için F_3-O_1 ve F_4-O_2 ve iki hemisfer farkını gösterebilmek için ise F_3-F_4 , C_3-C_4 , T_3-T_4 , T_5-T_6 , P_3-P_4 , O_1-O_2 karşılaştırması yapılmış ve sonuçları verilmiştir.

4.1.1 Uyarılara Karşı Yanıtların Topoğrafyası

4.1.1.1 Görsel hedef uyarana (basit ışık) karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar

OİP kayıtlarında deneye alınan bireyler, hedef olarak sunulan ışık uyarılarının hedef-olmayan uyarılara göre farklılıklarını tam algıladıklarını bildirmişlerdir. Doğru hedef uyarı sayma oranı %89'dur.

Basit ışık uyarısına karşı beynin tüm lokalizasyonlarında vermiş olduğu ortalamaları alınmış (grand average) yanıtlar, Şekil 10-13'de gösterilmekte ve üç frekans bandındaki yanıtların ortalama μV değerleri Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2 'Görsel OİP Hedef uyarısına'na karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri

Elektrot Bölgeleri	Görsel Hedef Uyarıan Delta		Görsel Hedef Uyarıan Teta		Görsel Hedef Uyarıan Alfa	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
F ₃	9,49	4,25	5,56	3,04	3,96	1,36
F ₄	10,51	5,84	5,95	3,29	4,49	1,44
C _z	10,47	4,00	6,49	2,77	5,29	2,60
C ₃	9,06	3,63	5,73	2,61	4,72	2,15
C ₄	11,45	5,19	6,24	2,51	5,65	2,55
T ₃	8,19	6,60	4,38	4,10	3,48	2,38
T ₄	7,00	3,14	3,68	1,76	3,54	1,26
T ₅	6,68	3,25	3,22	1,04	4,86	2,81
T ₆	8,20	2,95	3,62	1,01	4,82	1,91
P ₃	7,26	4,17	4,73	2,43	6,04	3,07
P ₄	10,52	3,52	4,46	2,13	6,12	2,86
O ₁	7,48	2,11	3,93	2,37	7,01	4,50
O ₂	7,41	2,36	3,51	1,77	6,66	3,57

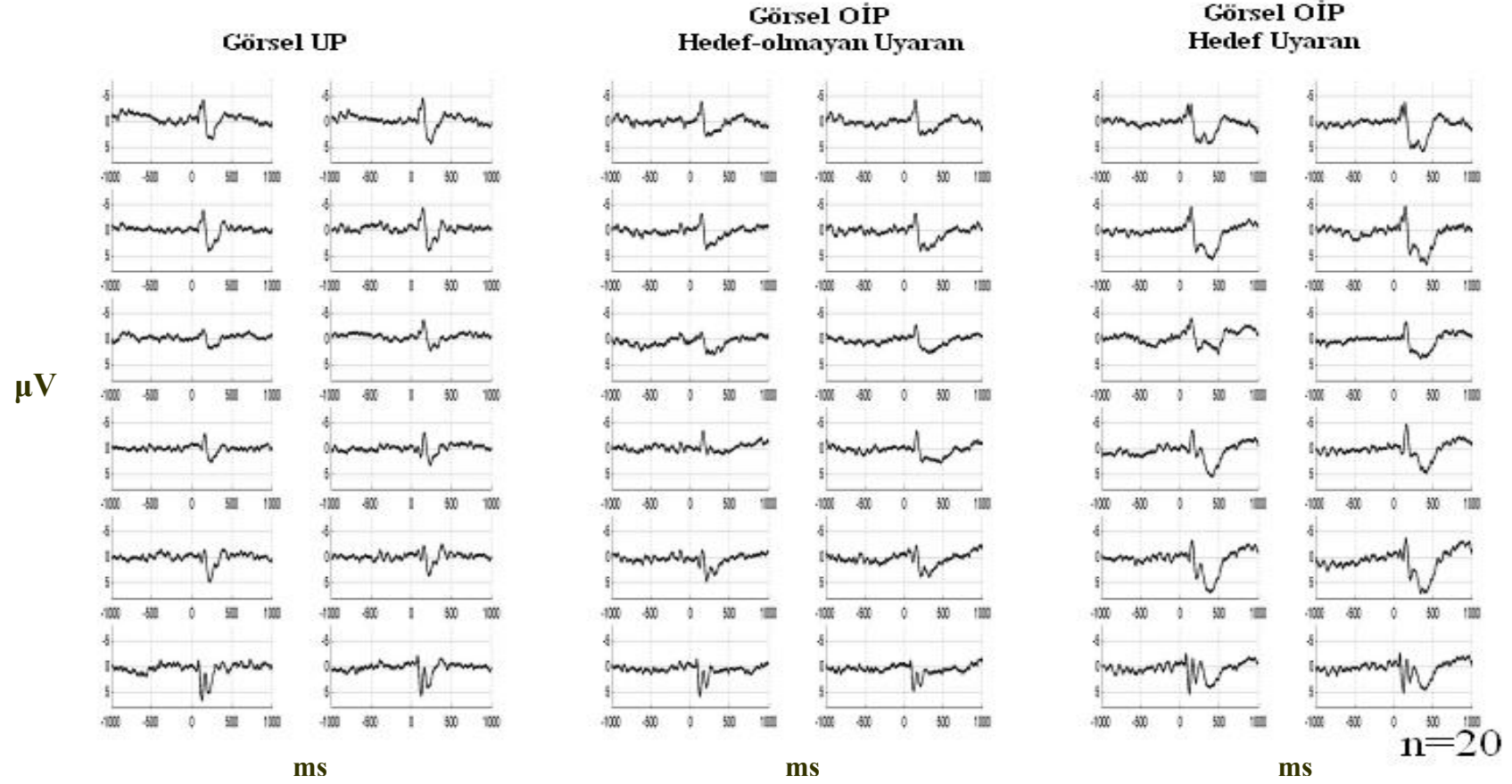
Görsel uyarılara karşı olan *filtrelenmemiş EEG yanıtları* incelemesinde (Şekil 10) her ölçüm bölgesinde standart, hedef-olmayan uyarı ve hedef uyarıya karşı P300 yanıtı gözlenmiştir. Zaman ekseninde, “0” uyarı anından yaklaşık 200–400 ms sonrasında pozitif sapmalı yanıtlardır. Hedef uyarıya karşı olan yanıtlar hedef-olmayan uyarıya karşı olan yanıtlardan daha büyük olarak gözlenmektedir.

Delta (0.5–3.5 Hz) frekans bandında, beynin hedef uyarıya karşı olan yanıtları her ölçüm alanında standart uyarılardan büyüktür (Şekil 11). Uyarının beynin ön-arka farklılığına bakıldığında, F₃ (sol frontal) delta yanıtları O₁ (sol oksipital) delta yanıtlarından %27 (p=0.016), F₄ (sağ frontal) delta yanıtları ise O₂ (sağ oksipital) delta yanıtlarından %42 (p=0.021) büyük bulunmuştur. Sağ/sol hemisfer farkına bakıldığında (laterality), C₄ delta yanıtları C₃ delta yanıtlarından %26 (p=0.08) ve T₆ delta yanıtları T₅ delta yanıtlarından %23 (p=0.002) büyük bulunmuştur.

Teta (4–7 Hz) frekans bandında yapılan analizlerde, 250–500 ms arasında (geç teta yanıtları) görsel hedef uyarıya karşı olan yanıtlar hedef-olmayan uyarıya karşı olan yanıtlardan daha büyüktür (p<0.05, her elektrot bölgesi için) (Şekil 12). Beynin ön-arka farklılığına bakıldığında, F₃ teta yanıtları O₁ teta yanıtlarından %41 (p=0.014), F₄ teta yanıtları ise O₂ teta yanıtlarından %70 (p=0.007) büyük bulunmuştur. Sağ/sol hemisfer farkına bakıldığında, teta frekans bandında hedef uyarıya karşı beyin yanıtlarında herhangi bir anlamlı fark bulunmamıştır.

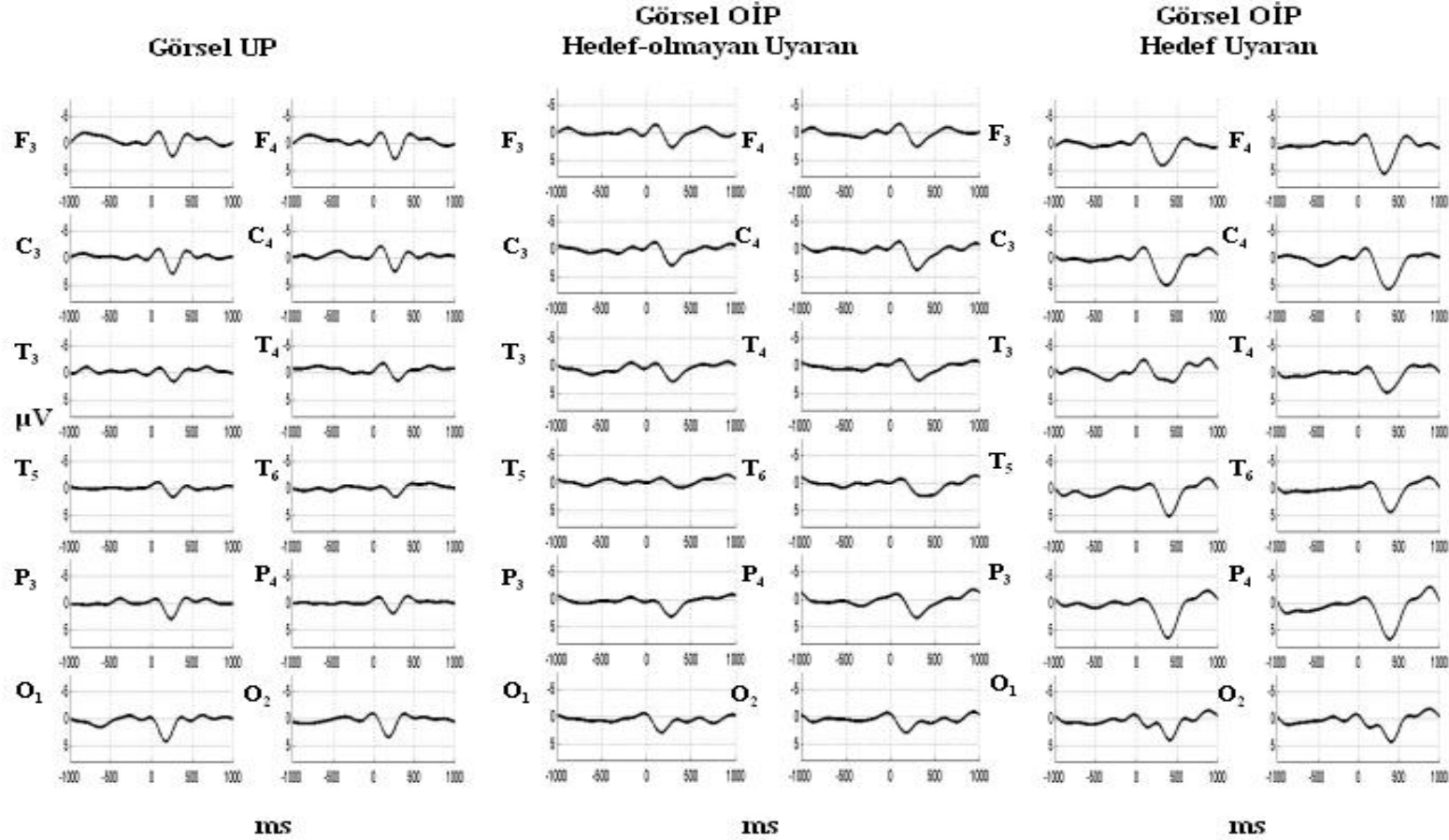
Alfa (8–13 Hz) frekans bandında, görsel hedef uyarıya karşı alfa yanıtları posterior bölgede (parieto-oksipital) daha yüksek olarak görülmektedir (Şekil 13). Yapılan analizlerde, görsel uyarıya karşı O₁ alfa yanıtları F₃ alfa yanıtlarından % 77 (p=0.001), O₂ alfa yanıtları F₄ alfa yanıtlarından % 48 (p=0.002), P₃ alfa yanıtları F₃ alfa yanıtlarından % 53 (p=0.002) ve P₄ alfa yanıtları F₄ alfa yanıtlarından % 36 (p=0.006) büyük olarak bulunmuştur. Ayrıca, F₄ alfa yanıtları F₃ alfa yanıtlarından % 13 büyük olarak bulunmuştur (p=0.03).

Görsel Uyaran Filtrelenmemiş (0.5–48 Hz)



Şekil 10 Görsel uyarılara karşı 0.5–48 Hz geniş frekans aralığında (filtrelenmemiş) beynin verdiği EEG-UP –OİP yanıtları **A**; görsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B**; görsel hedef-olmayan uyarı yanıtları **C**; görsel hedef uyarı yanıtları. Yatay ekseninde zaman skalası –1000, +1000 ms arasında, uyarımlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

Görsel Uyarı Delta (0.5–3.5 Hz)

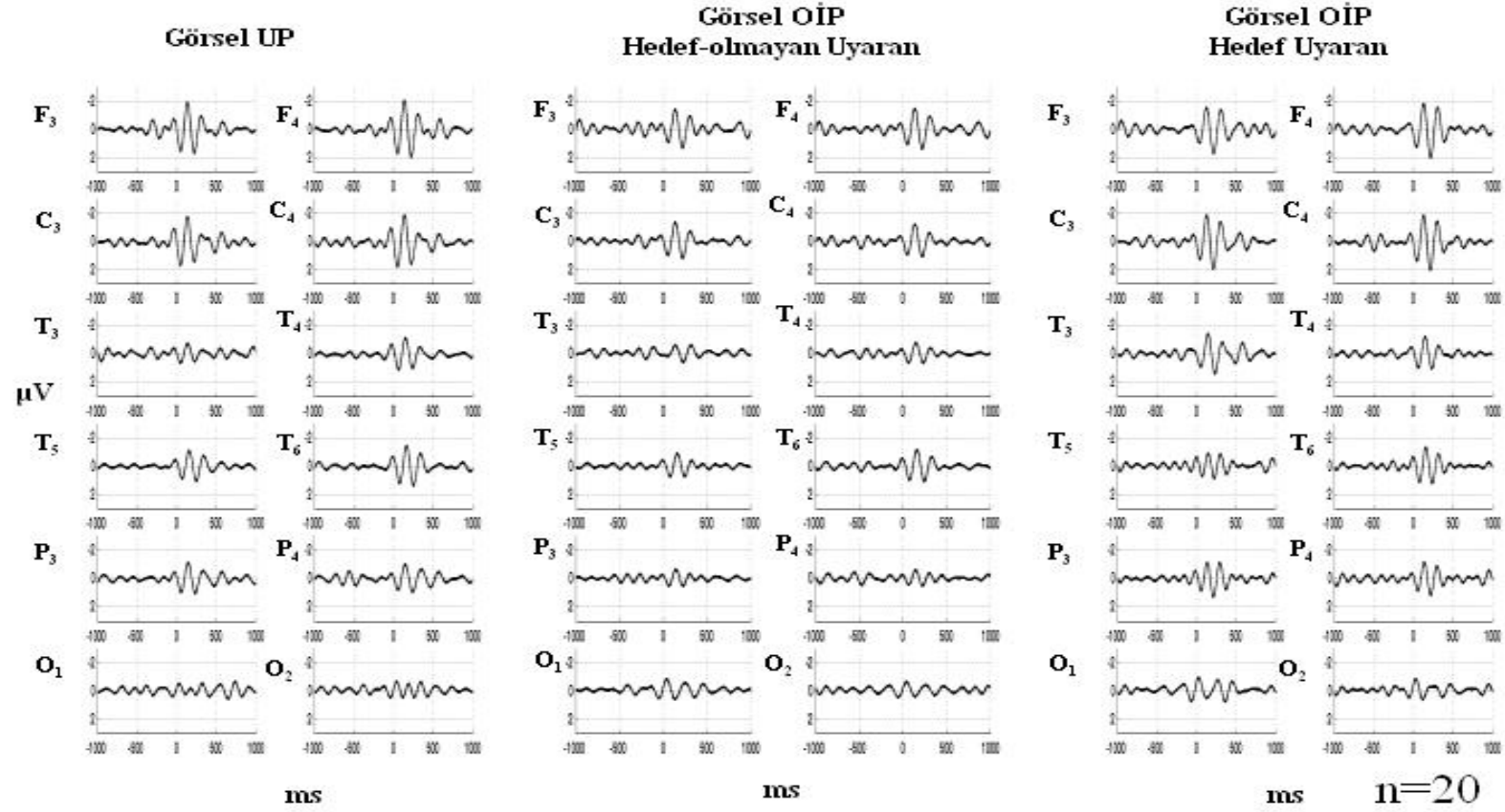


Şekil 11 Görsel hedef uyarana karşı delta (0.5–3.5 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar

A; görsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B;** görsel hedef-olmayan uyarı yanıtları **C;** görsel hedef uyarı yanıtları.

Yatay ekseninde zaman skalası –1000, +1000 ms arasında, uyarılar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

Görsel Uyarın Teta (4-7 Hz)

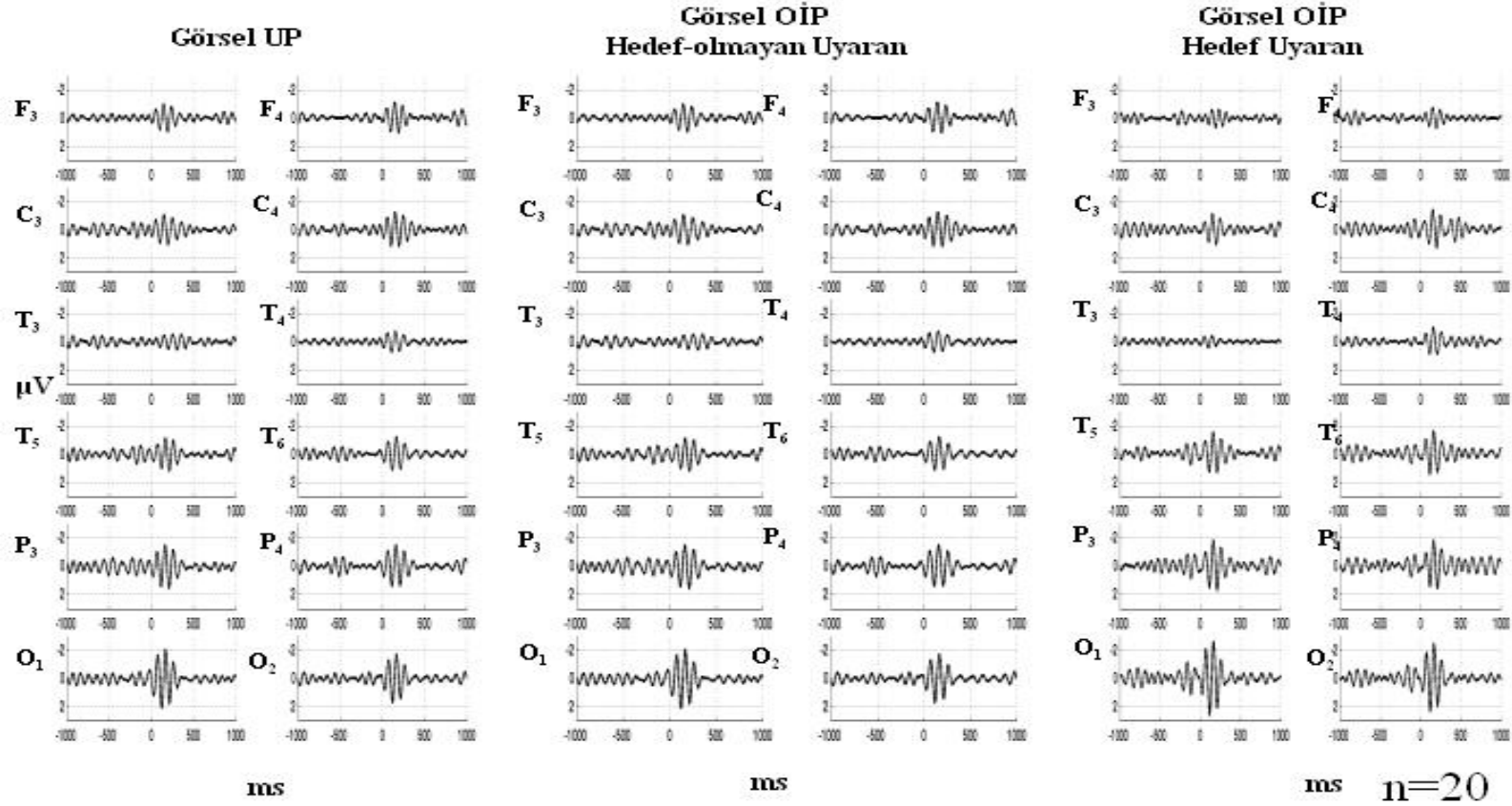


Şekil 12 Görsel hedef uyarana karşı teta (4-7 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar

A; görsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B;** görsel hedef-olmayan uyarın yanıtları **C;** görsel hedef uyarın yanıtları.

Yatay ekseninde zaman skalası -1000, +1000 ms arasında, uyarınlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

Görsel Uyarın Alfa (8-13 Hz)



Şekil 13 Görsel hedef uyarana karşı alfa (8–13 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar

A; görsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B;** görsel hedef-olmayan uyarın yanıtları **C;** görsel hedef uyarın yanıtları.

Yatay ekseninde zaman skalası –1000, +1000 ms arasında, uyarınlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

4.1.1.2 İşıtsel hedef uyarana karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar

İşıtsel OİP kayıtlarında deneye alınan bireyler, hedef olarak sunulan ses uyarılarının hedef-olmayan uyarılara göre farklılıklarını tam algıladıklarını bildirmişlerdir. Doğru hedef uyarı sayma oranı %91'dir.

İşıtsel (ses) uyarılarına karşı, beynin ölçmüş olduğumuz tüm lokalizasyonlarında vermiş olduğu yanıtların ortalamaları alınmıştır (grand average). Yanıtlar, Şekil 14-17'de gösterilmekte ve üç frekans bandındaki yanıtların ortalama μV değerleri Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3 'İşıtsel OİP Hedef uyarı'na karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri

Elektrot Bölgeleri	İşıtsel Hedef Uyarı Delta		İşıtsel Hedef Uyarı Teta		İşıtsel Hedef Uyarı Alfa	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
F ₃	8,92	4,02	6,78	2,22	5,62	3,57
F ₄	10,57	6,10	6,45	2,65	5,61	3,87
C _z	10,36	4,32	8,33	3,26	6,38	3,82
C ₃	9,24	3,90	7,52	2,49	6,19	3,96
C ₄	11,27	5,05	6,79	2,92	5,99	3,88
T ₃	7,47	5,08	3,85	1,49	3,91	2,75
T ₄	7,25	3,30	3,71	1,18	4,05	2,98
T ₅	7,36	2,91	2,90	1,42	4,03	2,87
T ₆	8,80	3,75	4,38	4,78	5,04	2,47
P ₃	9,55	3,93	4,51	2,17	5,70	4,14
P ₄	10,51	3,66	4,64	1,93	6,05	3,46
O ₁	7,39	2,25	4,97	3,75	6,48	4,00
O ₂	7,49	2,45	3,53	1,36	5,32	2,86

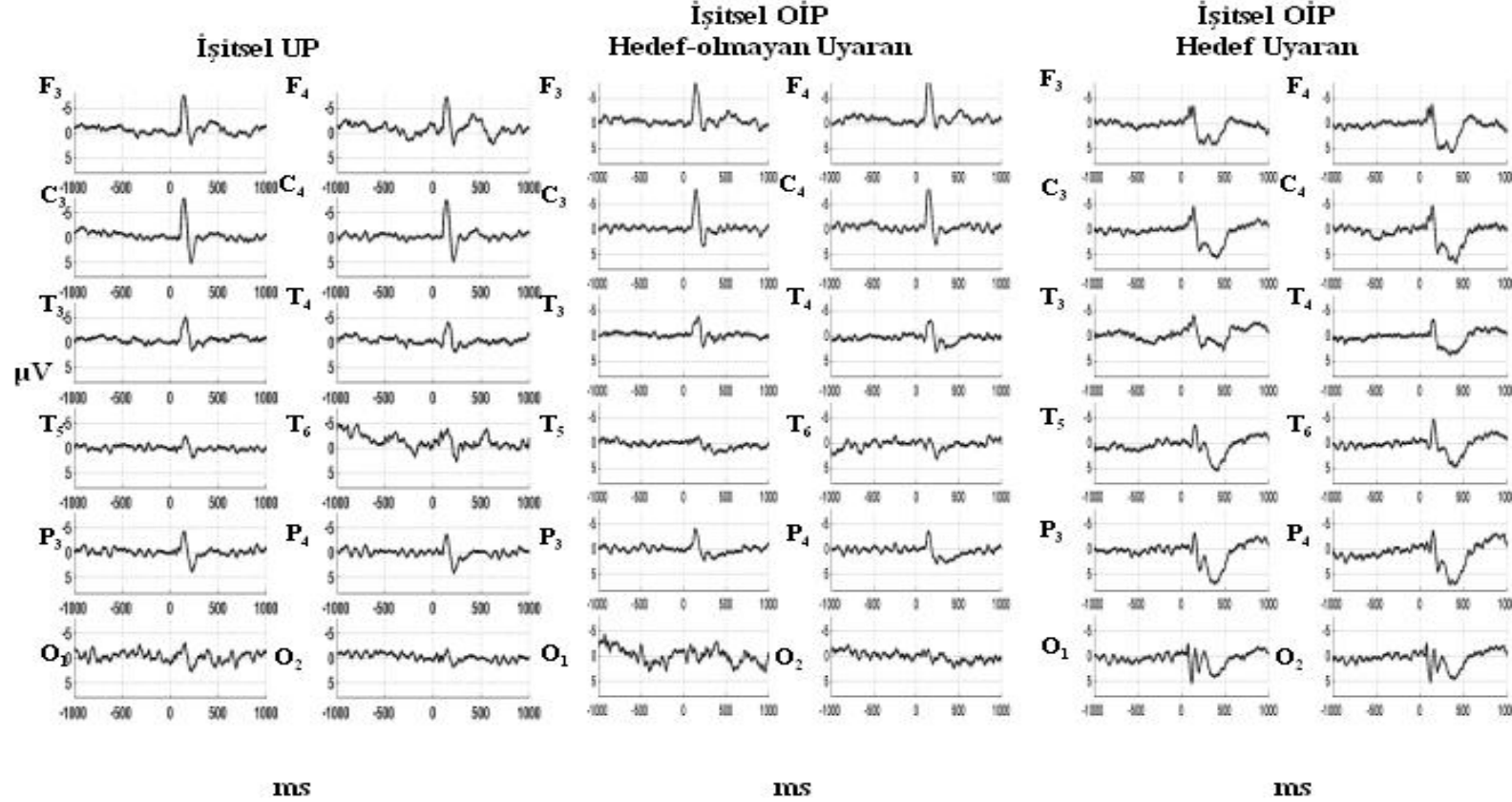
Filtrelenmemiş EEG yanıtları incelemesinde (Şekil 14) her ölçüm bölgesinde standart, hedef-olmayan uyaran ve hedef uyarana karşı P300 yanıtı gözlenmiştir. Hedef uyarana karşı olan yanıtlar görsel uyaran ile yapılan deneylerde de görüldüğü gibi standart ve hedef-olmayan uyarana karşı olan yanıtlardan daha büyük olarak gözlenmektedir.

Delta frekans bandında, işitsel hedef uyaran her ölçüm bölgesinde hedef-olmayan uyarandan büyük olarak bulunmuştur ($p < 0.05$, herbir elektrot için) (Şekil 15). Ön/arka beyin yanıtları incelendiğinde, F_3 delta yanıtları O_1 delta yanıtlarından %20 ($p = 0.033$), F_4 delta yanıtları O_2 delta yanıtlarından %31 ($p = 0.032$) büyük bulunmuştur. İşitsel hedef uyarana karşı alınan yanıtlarda, sağ/sol hemisfer farkına bakıldığında, C_4 bölgesi delta yanıtları C_3 bölgesi delta yanıtlarından %15 ($p = 0.003$) ve T_6 bölgesinde delta yanıtları T_5 bölgesindeki delta yanıtlarından %29 ($p = 0.025$) büyük bulunmuştur.

Teta frekans bandında, ortalamalar incelendiğinde hem standart, hedef-olmayan hem de hedef uyarana karşı olan yanıtlar frontal ve sentral bölgede daha büyük olarak gözlenmektedir (Şekil 16). Ön/arka beyin yanıtları incelendiğinde, frontal bölge yanıtları parieto-okspital bölge yanıtlarından büyük olarak gözlenmiştir. F_3 bölgesinde işitsel uyarana karşı alınan teta yanıtları O_1 bölgesinden %36 ($p = 0.046$) ve P_3 bölgesinden % 50 ($p = 0.002$) büyüktür. F_4 bölgesinden alınan teta yanıtları ise O_2 bölgesinden %83 ($p = 0.001$), P_4 bölgesinden %39 ($p = 0.004$) büyük olarak bulunmuştur. Sağ/sol hemisfer farkları incelendiğinde, teta frekans bandında hedef uyarana karşı beyin yanıtlarında herhangi bir anlamlı fark bulunmamıştır. Her iki hemisferde de benzer yanıtlar elde edilmektedir.

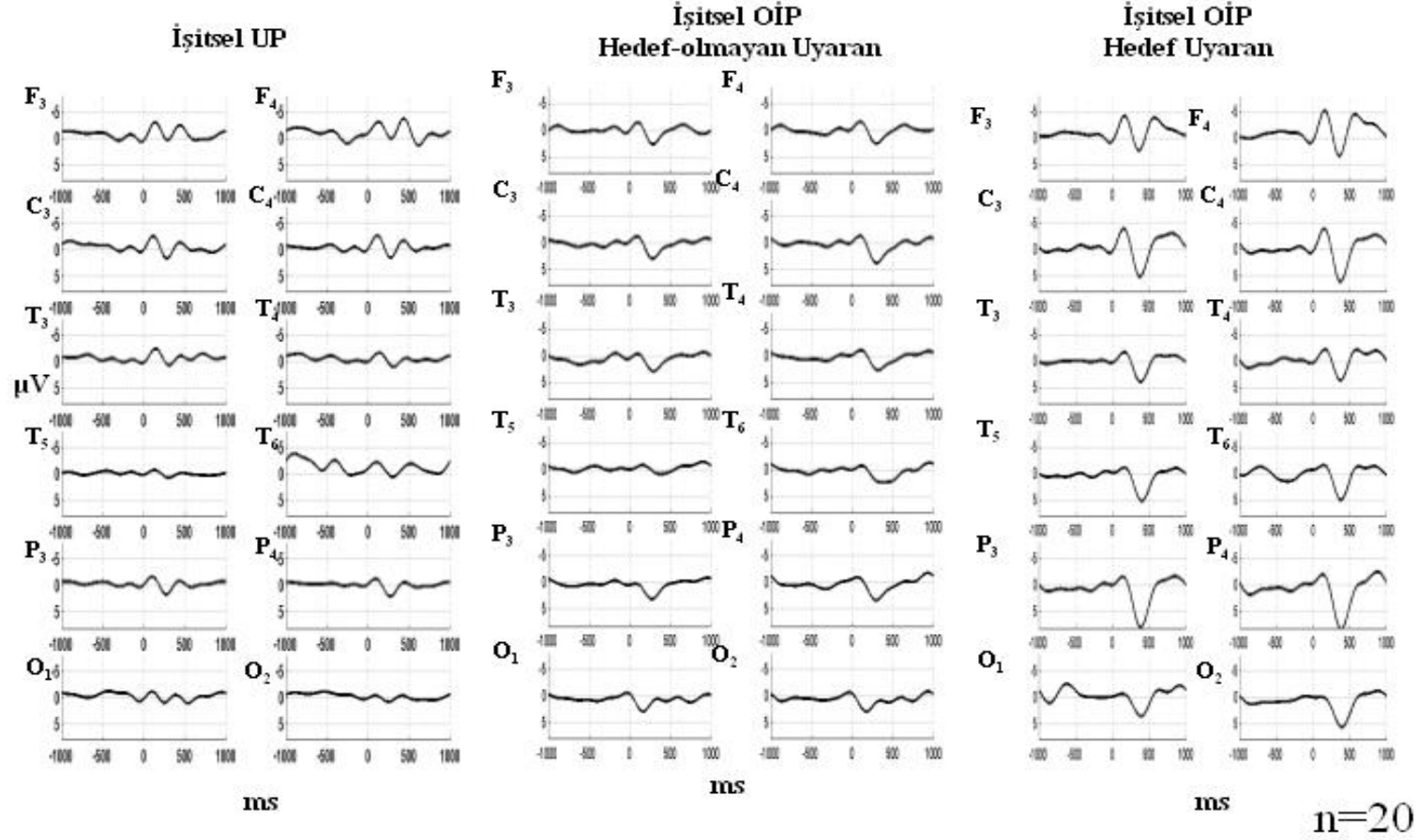
Alfa frekans bandında, ortalamalar incelendiğinde standart ve hedef uyaranlara karşı olan yanıtların frontal, sentral ve pariyetal bölgede daha büyük ve uzun olduğu gözlenmektedir (Şekil 17). Yapılan analizlerde, hedef uyaranlara alınan yanıtlar incelendiğinde frontal bölgeler ile parieto-okspital bölgeler arasında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Sağ/sol hemisfer incelenmesinde T_6 bölgesinde alfa yanıtları T_5 bölgesindeki alfa yanıtlarından %25 ($p = 0.030$) büyük bulunmuştur.

İşitsel Uyarın Filtrelenmemiş (0.5–48 Hz)



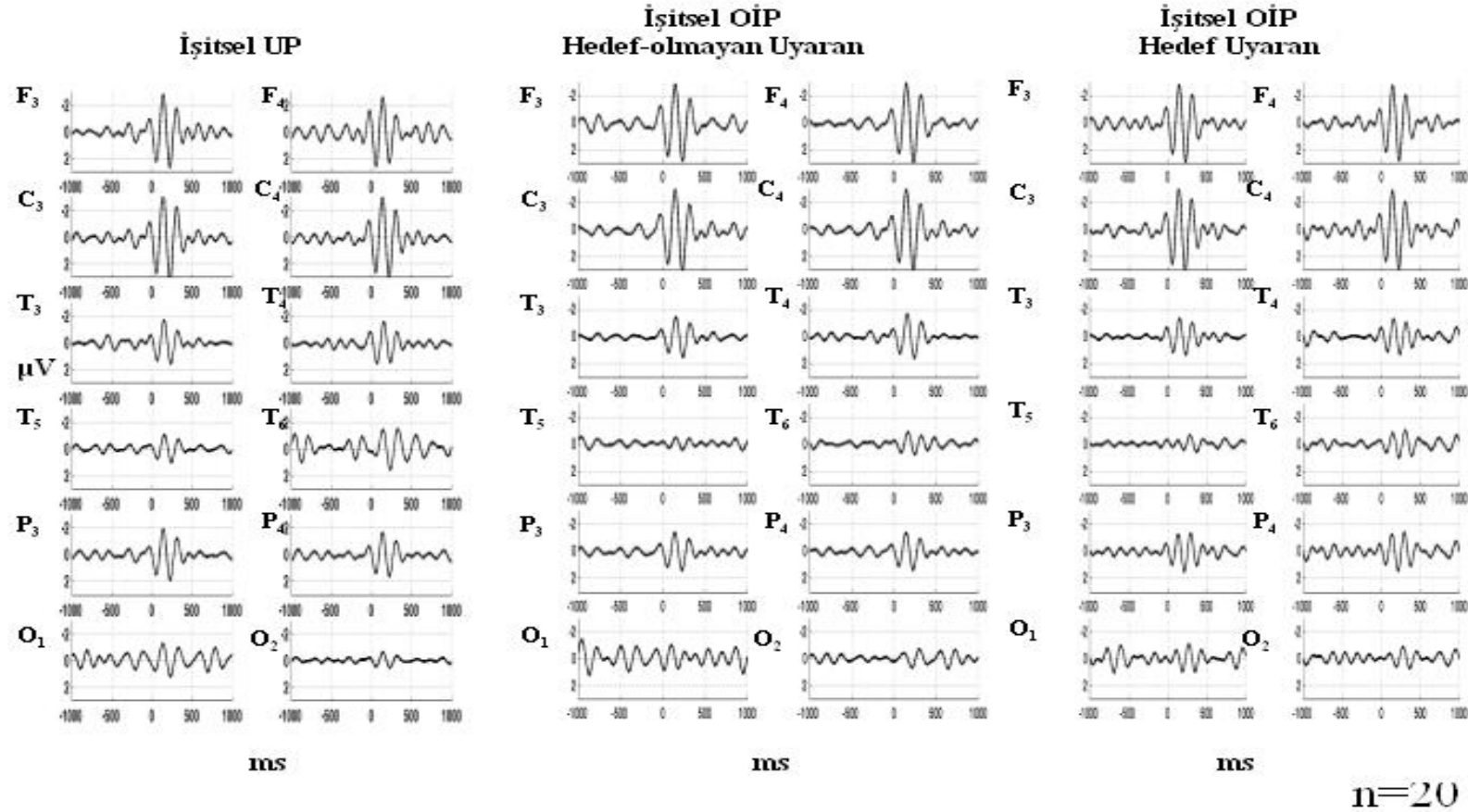
Şekil 14 İşitsel hedef uyarana karşı 0.5–48 Hz frekans geniş frekans aralığında (filtrelenmemiş) beynin verdiği yanıtlar **A**; işitsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B**; işitsel hedef-olmayan uyarın yanıtları **C**; işitsel hedef uyarın yanıtları. Yatay ekseninde zaman skalası –1000, +1000 ms arasında, uyarınlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

İşitsel Uyarın Delta (0.5-3 Hz)



Şekil 15 İşitsel hedef uyarana karşı delta (0.5-3.5 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar
A; işitsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B;** işitsel hedef-olmayan uyarın yanıtları **C;** işitsel hedef uyarın yanıtları.
 Yatay ekseninde zaman skalası -1000, +1000 ms arasında, uyarınlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde µV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

İşitsel Uyarın Teta (4-7 Hz)

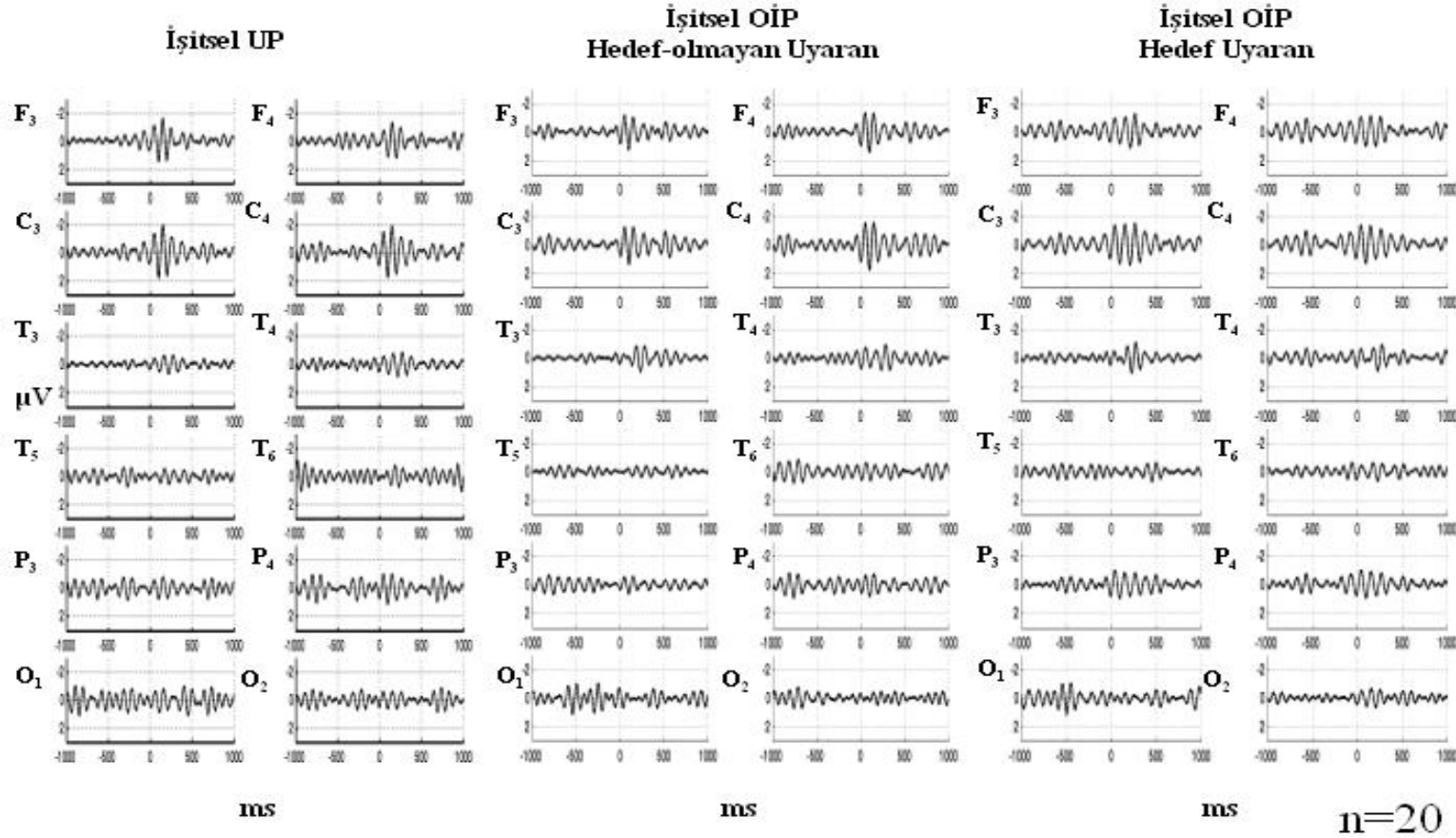


Şekil 16 İşitsel hedef uyarana karşı teta (4–7 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar

A; işitsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B;** işitsel hedef-olmayan uyarın yanıtları **C;** işitsel hedef uyarın yanıtları.

Yatay ekseninde zaman skalası –1000, +1000 ms arasında, uyarınlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde µV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

İşitsel Uyarın Alfa (8-13 Hz)



Şekil 17 İşitsel hedef uyarana karşı alfa (8–13 Hz) frekans bandında beynin vermiş olduğu yanıtlar

A; işitsel uyarılmış potansiyel yanıtları **B**; işitsel hedef-olmayan uyarın yanıtları **C**; işitsel hedef uyarın yanıtları.

Yatay ekseninde zaman skalası –1000, +1000 ms arasında, uyarınlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

4.1.1.3 Yüz uyaranlarına karşı beyin vermiş olduğu yanıtlar

Yüz uyaranlarına karşı, beyin ölçmüş olduğumuz tüm lokalizasyonlarında vermiş olduğu yanıtların ortalamaları, Şekil 18-20’de gösterilmekte ve üç frekans bandındaki yanıtların ortalama μV değerleri Tablo 4 ve Tablo 5’de yer almaktadır.

Yüz tanıma deneylerine katılan tüm bireyler ekrandan gösterilen büyükannelerine ait fotoğrafları tanıdıklarını belirtmişlerdir. Ayrıca, kendilerine sunulan anonim yüz resimlerini ise daha önce hiç tanımadıkları, görmedikleri bilgisi alınmıştır.

Büyükanne uyaranına karşı olan yanıtlar incelendiğinde;

Delta frekans bandında, büyükanne fotoğrafına karşı beyin arka bölgelerinde alınan delta yanıtları, ön bölgelerinden alınan delta yanıtlarından daha büyüktür. Sol oksipital bölge delta yanıtları, sol frontal bölge ile kıyaslandığında % 54 daha büyük bulunmuştur ($p=0,001$). Sağ oksipital bölge (O_2) delta yanıtları, sağ frontal bölge delta yanıtlarından % 58 daha büyük olarak bulunmuştur ($p=0,000$). İki hemisferin kıyaslanmasında T_6 elektrot bölgesinde büyükanne resmine karşı oluşan delta yanıtları, T_5 bölgesinden alınan yanıtlardan % 112 daha büyük bulunmuştur ($p=0.008$) (Şekil 18).

Teta frekans bandında yapılan incelemede, büyükanne fotoğrafına karşı frontal ve sentral bölgelerde, oksipital bölgede ve T_6 bölgesinde belirgin teta cevapları görülmektedir. Beyinde frontal bölgelerden alınan yanıtlar oksipital bölgelerden alınan yanıtlarla kıyaslandığında frontal bölge yanıtları daha büyük görünse de aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir. T_6 bölgesinden elde edilen yanıtların, T_5 bölgesinden alınan yanıtlardan % 129 daha büyük olduğu bulunmuştur ($p=0.008$) (Şekil 19).

Alfa frekans bandında, büyükanne fotoğrafına karşı yaygın olarak tüm elektrot bölgelerinde alfa yanıtları gözlenmiştir. Sağ oksipital bölgede kaydedilen alfa yanıtları sağ frontal bölgeden kaydedilen alfa yanıtlarından % 24 büyük iken ($p=0.010$), sol oksipital bölge yanıtları sol frontal bölge yanıtlarından % 19 büyüktür ($p=0.016$). Sağ/sol hemisfer farkına

baktığımızda T₆ da oluşan alfa yanıtları, T₅ de oluşan alfa yanıtlarından % 73 daha büyük bulunmuştur (p=0.017) (Şekil 20).

Tablo 4 Büyükanne uyarısına karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri

Elektrot Bölgeleri	Büyükanne Delta		Büyükanne Teta		Büyükanne Alfa	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
F ₃	7.33	3.79	5.31	2.15	4.61	1.65
F ₄	7.47	3.10	5.15	1.95	4.14	1.56
C _z	9.67	4.02	6.03	2.04	5.28	1.70
C ₃	7.65	3.02	4,54	2.02	3.78	0.96
C ₄	8.47	3.07	4,07	0.99	3.77	0.57
T ₃	5.68	3.59	2.88	1.09	4.88	1.83
T ₄	5.91	3.27	3.06	1.29	3.08	1.44
T ₅	4.12	1.72	1.93	0.63	2.83	1.12
T ₆	8.72	2.73	4.42	1.14	4.89	2.20
P ₃	10.56	4.84	4.53	1.93	4.88	1.82
P ₄	12.17	5.50	4.29	1.68	5.25	2.81
O ₁	11.30	3.30	4.53	1.85	5.49	1.82
O ₂	11.80	3.42	4,51	1.26	5.13	1.93

Bilinmeyen yüz sinyaline karşı beyin vermiş olduğu yanıtlar incelendiğinde;

Delta frekans bandı incelendiğinde, bilinmeyen yüz fotoğrafına karşı beyin arka bölgelerinde alınan delta yanıtları, ön bölgelerinden alınan delta yanıtlarından daha büyüktür. Sol oksipital bölge delta yanıtları, sol frontal bölge ile kıyaslandığında % 32 daha büyük bulunmuştur (p=0.007). Sağ oksipital bölge (O₂) delta yanıtları, sağ frontal bölge delta yanıtlarından % 55 daha büyük olarak bulunmuştur (p=0.001). İki hemisferin

kıyaslanmasında, T₆ elektrot bölgesinde bilinmeyen yüz resmine karşı oluşan delta yanıtları, T₅ bölgesinden alınan yanıtlardan % 105 daha büyük bulunmuştur (p=0.008) (Şekil 18).

Teta frekans bandında yapılan incelemede, bilinmeyen yüz fotoğrafına karşı frontal ve sentral bölgelerde, T₆ bölgesinde ve oksipital bölgelerde belirgin teta cevapları görülmektedir.

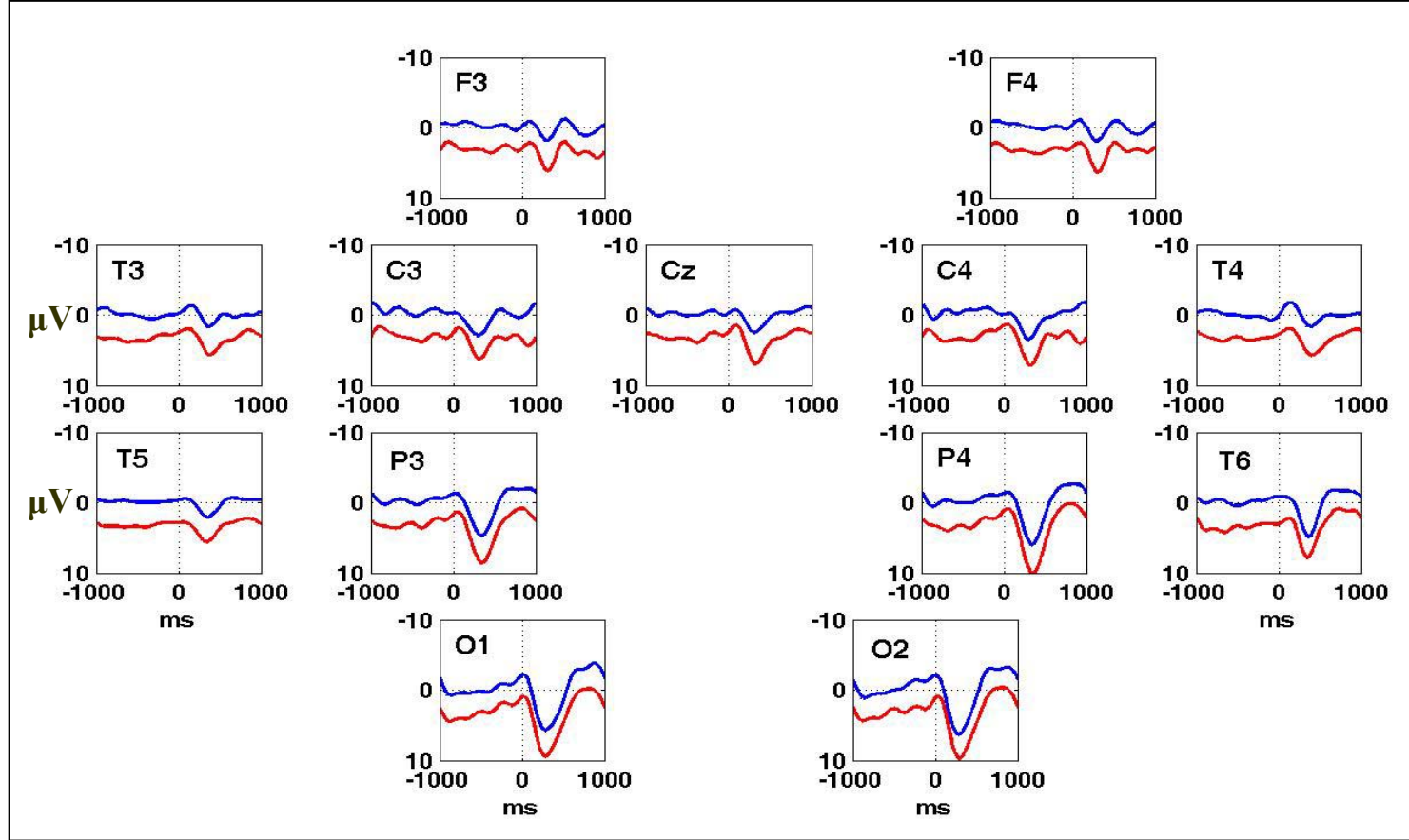
Kafada frontal bölgelerden alınan teta yanıtları oksipital bölgelerden alınan yanıtlarla kıyaslandığında frontal bölge yanıtları daha büyük görünse de aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmemiştir. T₆ bölgesinden elde edilen yanıtların, T₅ bölgesinden alınan yanıtlardan % 173 daha büyük olduğu bulunmuştur (p=0.008) (Şekil 19).

Tablo 5 ‘Bilinmeyen Yüz’ uyarısına karşı oluşan değişik frekans bantlarındaki yanıtların, elektrot bölgelerine göre ortalama ve standart sapma (SS) değerleri

Elektrot Bölgeleri	Bilinmeyen Yüz Delta		Bilinmeyen Yüz Teta		Bilinmeyen Yüz Alfa	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
F₃	8.00	3.13	5.25	1.85	4.26	1.67
F₄	7.41	3.07	4.93	1.60	4.21	1.97
C_z	8.76	3.89	5.48	2.13	5.10	1.71
C₃	7.91	2.11	4.74	2.23	4.38	1.55
C₄	8.24	3.05	4.55	2.13	4.66	2.12
T₃	5.66	2.25	3.22	1.33	3.10	0.88
T₄	5.70	2.97	2.96	1.43	3.06	1.64
T₅	4.64	1.39	1.88	0.62	2.90	1.10
T₆	9.52	2.81	5.14	1.60	5.37	2.11
P₃	10.11	2.99	4.25	1.51	4.78	2.10
P₄	10.87	3.46	4.45	1.89	5.08	1.51
O₁	10.58	3.21	4.48	1.99	5.59	1.98
O₂	11.48	3.68	4.65	2.09	5.08	1.76

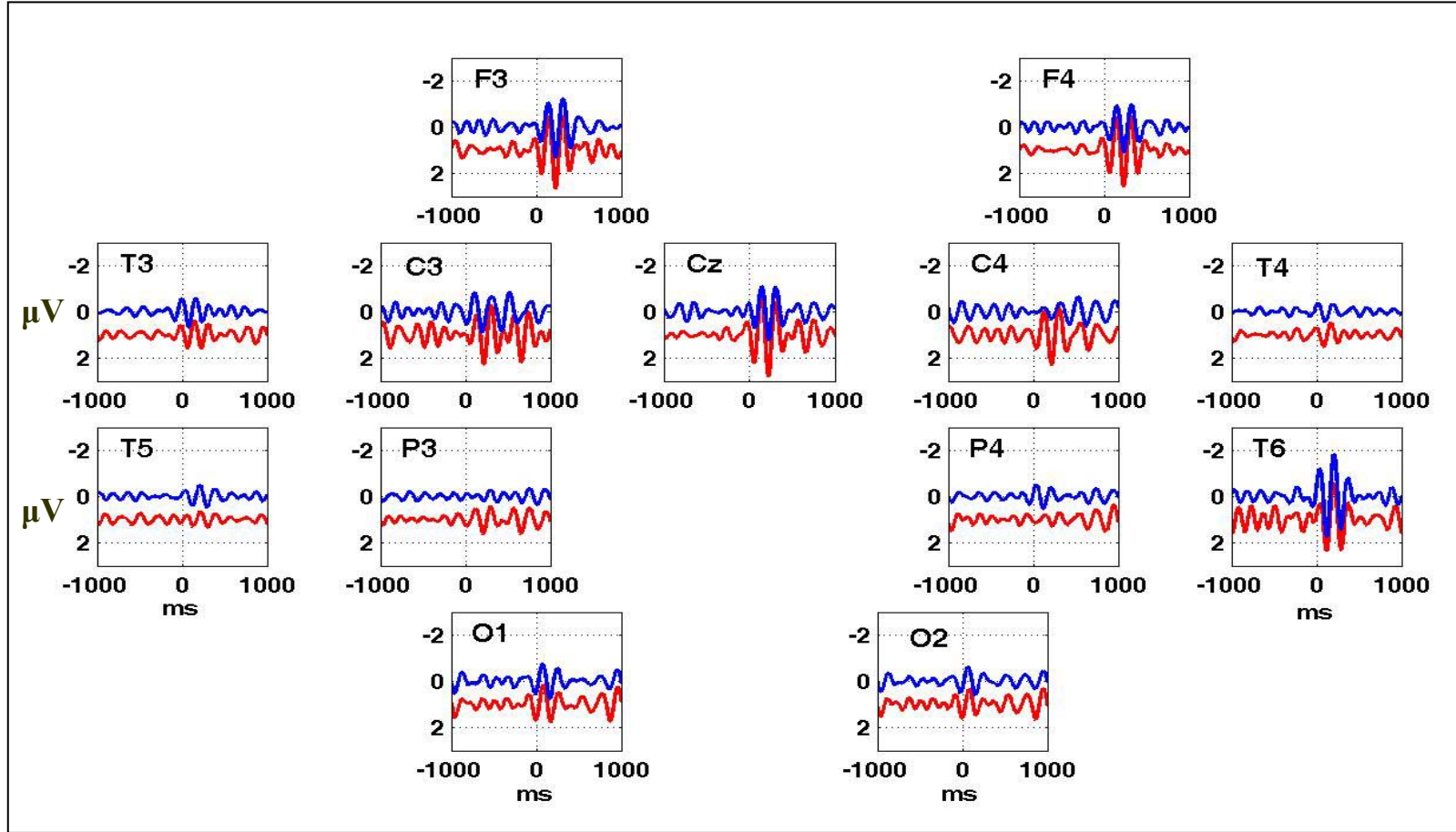
Alfa frekans bandında, bilinmeyen yüz fotoğrafına karşı yaygın olarak tüm elektrot bölgelerinde alfa yanıtları gözlenmiştir. Sağ oksipital bölgede kaydedilen alfa yanıtları sağ frontal bölgeden kaydedilen alfa yanıtlarından % 21 büyük iken ($p=0.028$), sol oksipital bölge yanıtları sol frontal bölge yanıtlarından % 31 büyüktür ($p=0.001$). Sağ/sol hemisfer farkına bakıldığında bilinmeyen yüz uyarısına karşı T_6 da oluşan alfa yanıtları, T_5 de oluşan alfa yanıtlarından % 85 daha büyük bulunmuştur ($p=0.019$) (Şekil 20).

DELTA FREKANS BANDINDA YÜZ UYARANLARINA KARŞI OLAN YANITLAR



Şekil 18 Yüz uyaranlarına karşı beynin verdiği **delta** frekans bandındaki yanıtlar; **mavi**: bilinmeyen yüz, **kırmızı**: büyükanne. Yatay ekseninde zaman skalası -1000, +1000 ms arasında, uyaranlar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

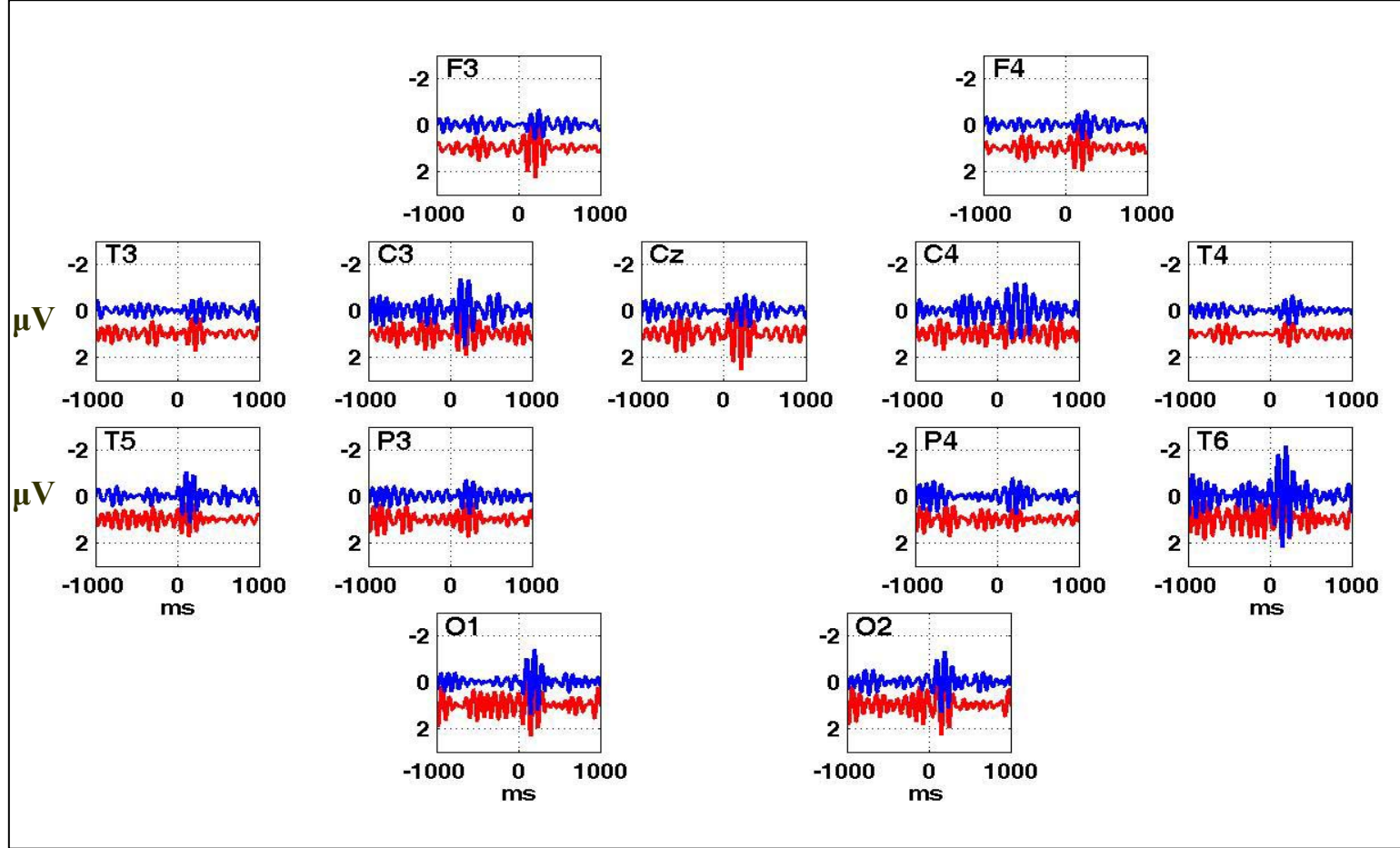
TETA FREKANS BANDINDA YÜZ UYARANLARINA KARŞI OLAN YANITLAR



Şekil 19 Yüz uyarılarına karşı beynin verdiği **teta** frekans bandındaki yanıtlar; **mavi**: bilinmeyen yüz uyarını, **kırmızı**: büyükanne uyarını

Yatay ekseninde zaman skalası -1000, +1000 ms arasında, uyarılar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

ALFA FREKANS BANDINDA YÜZ UYARANLARINA KARŞI OLAN YANITLAR



Şekil 20 Yüz uyarılarına karşı beynin verdiği **alfa** frekans bandındaki yanıtlar; **mavi**: bilinmeyen yüz, **kırmızı**: büyükanne uyarı. Yatay eksen zaman skalası -1000, +1000 ms arasında, uyarılar 0 ms de verilmektedir. Düşey eksen μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır. Üst bölgede frontal, alt bölgede oksipital yanıtlar olmak üzere ölçüm bölgeleri sıralanmıştır.

4.1.2 Çoklu Paradigmalar ve Farklılıkları

Farklı paradigmalarda, hedef uyaran olarak uygulanan uyaranlar beynin farklı bölgelerinde değişik genliklerde yanıtlar oluşturmuşlardır.

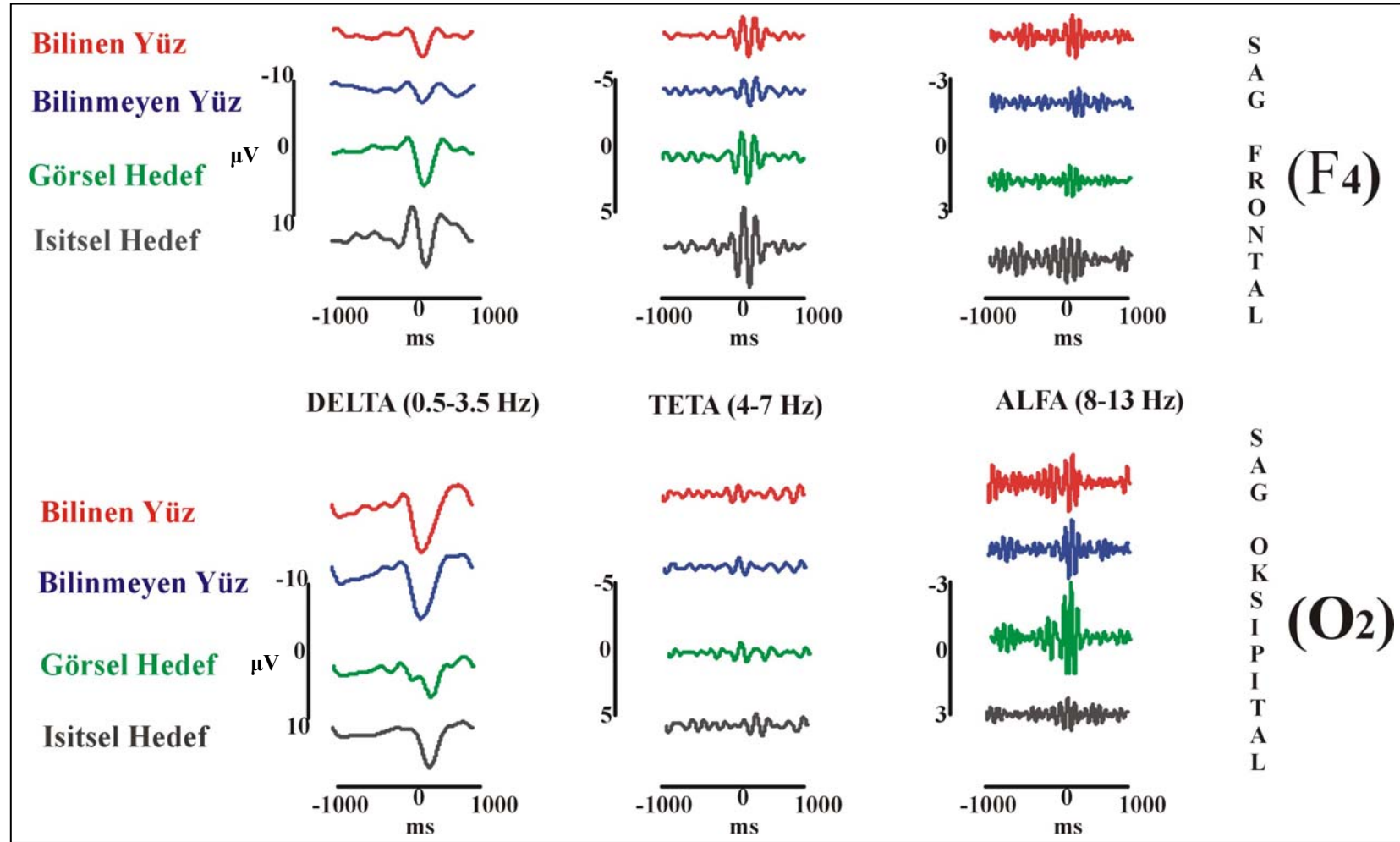
Şekil 21 de, sadece sağ frontal ve sağ oksipital bölgede hedef uyaranlara karşı oluşan yanıtların ortalamaları gösterilmektedir. Tüm bireylerin ortalamaları incelendiğinde, delta frekans bandında işitsel ve görsel uyaranlara olan yanıtlar yüz uyaranlarına karşı olan delta yanıtlarından büyük gözlenmektedir. Oksipital bölgede ise; ses ve ışık uyaranına karşı olan yanıtlar küçülmüşken, yüz uyaranlarına karşı olan yanıtlar büyümüşür.

Delta frekans bandında uyaranlar birbiri ile karşılaştırıldığında; frontal bölgede her üç görsel uyaran arasında fark bulunmazken, işitsel hedef uyaran tüm görsel uyaranlardan büyük olarak bulunmuştur. Oksipital bölgede ise, her iki yüz uyaranı, hem işitsel hem basit ışık uyaranından büyük olarak bulunmuştur ($p<0.05$).

Teta frekans bandında, işitsel hedef uyaran frontal bölgede yüz uyaranlarından büyük olarak bulunmuştur ($p<0.05$). Oksipital bölgede tüm uyanlara karşı teta yanıtı istatistiksel anlamlı fark göstermemektedir.

Alfa frekans bandında, sağ oksipital bölgede, işitsel uyaran her üç görsel uyarandan küçük bulunmuştur ($p<0.05$). Ayrıca, basit ışık uyaranına karşı olan alfa yanıtları, her iki yüz uyaranından büyük bulunmuştur ($p<0.05$). Frontal bölgede işitsel hedef uyarana olan alfa yanıtları diğer görsel hedef uyaranlara olan yanıtlardan büyük ve uzamış olarak gözlenmiş ancak genlikleri incelendiğinde istatistiksel fark saptanmamıştır.

FARKLI HEDEF UYARANLARA KARŞI BEYNİN YANITLARI



Şekil 21 Farklı hedef uyarılara karşı beynin vermiş olduğu yanıtlar

Sağ frontal (üst) ve sağ oksipital bölgede (alt) gösterilmektedir. **Kırmızı**; bilinen yüz (büyükanne), **mavi**; bilinmeyen yüz, **yeşil**; basit ışık hedef uyarı, **gri**; işitsel seyrek uyarı paradigması hedef uyarı yanıtlarını göstermektedir.

Yatay ekseninde zaman skalası -1000, +1000 ms arasında, uyarılar 0 ms de verilmektedir. Düşey ekseninde μV cinsinden genlik bilgisi bulunmaktadır.

4.2 Öğrenme Stratejileri

4.2.1 Uygulanma sıralarına göre uyarıların beklenti (anticipation) ile ilgili durumu

Paradigma sırasında, beklenti (anticipation) irdelenebilmesi amacıyla hedef uyarıdan bir önce verilen hedef-olmayan uyarı (NTB) ile bir sonra verilen hedef-olmayan uyarı (NTA) arasındaki fark incelenmiştir. Hedef uyarıya göre hedef olmayan uyarının zaman-sırasına burada önem verilmektedir. Bu amaçla **Şekil 7B**'nin incelenmesi, bu bölümde aktarılan hedef olmayan uyarılar arasındaki farklı ifadelerin tam karşılıklıklarının anlaşılması için gereklidir.

Görsel Seyrek Uyarı Paradigmasında;

Delta frekans bandında, hedef uyarıdan sonra verilen hedef-olmayan uyarıların (NTA) ortalamaları, önce verilenlerin (NTB) ortalamalarından daha büyük olarak gözlenmiştir. T₅ elektrot bölgesindeki artış istatistiksel olarak gösterilmiştir (p=0.034) (Şekil 22).

Teta frekans bandında, hedef uyarıdan sonraki hedef-olmayan uyarılar (NTA), hedef uyarı öncesindeki hedef-olmayan uyarılardan F₃ bölgesinde (p=0.020), F₄ bölgesinde (p=0.044), C₃ bölgesinde (p=0.039), C₄ bölgesinde (p=0.047), T₃ bölgesinde (p=0.006), T₄ bölgesinde (p=0.026), P₄ bölgesinde (p=0.044) daha büyük bulunmuştur (Şekil 23).

Alfa frekans bandında, görsel hedef uyarı öncesi (NTB) ve sonrası verilen hedef-olmayan uyarılar (NTA) arasında herhangi bir fark bulunmamıştır (Şekil 24).

İşitsel Seyrek Uyarı Paradigmasında;

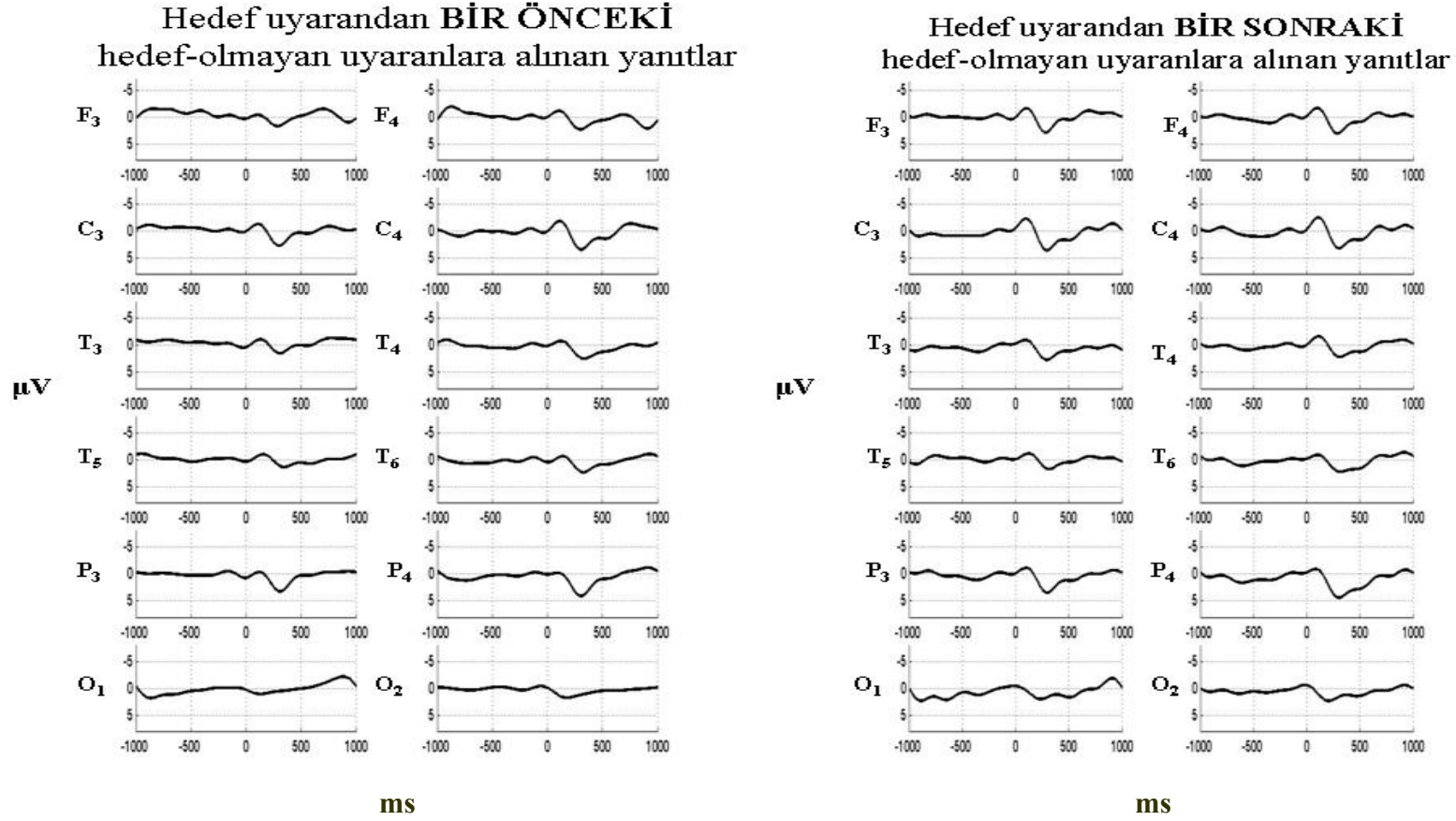
Delta frekans bandında, grand averajlarda özellikle frontal, sentral ve pariyetal bölgelerde delta yanıtları hedef uyarıdan sonra verilen hedef-olmayan uyarılar (NTA) ile bir önce verilen hedef-olmayan uyarıya (NTB) kıyasla büyük gözlenirken, temporal ve oksipital bölgelerde aynı kalmış veya küçülme göstermiştir (Şekil 25). Sol temporal bölgede

hedef uyaran sonrası yanıtlar (NTA), hedeften bir önceki yanıtlardan (NTB) daha küçük saptanmıştır ($p=0.035$).

Teta frekans bandında, T_6 da işitsel hedef-olmayan uyarılar, hedef sonrasındakiler (NTA) hedef öncesindekilere (NTB) göre daha büyük bulunmuştur ($p=0.009$) (Şekil26).

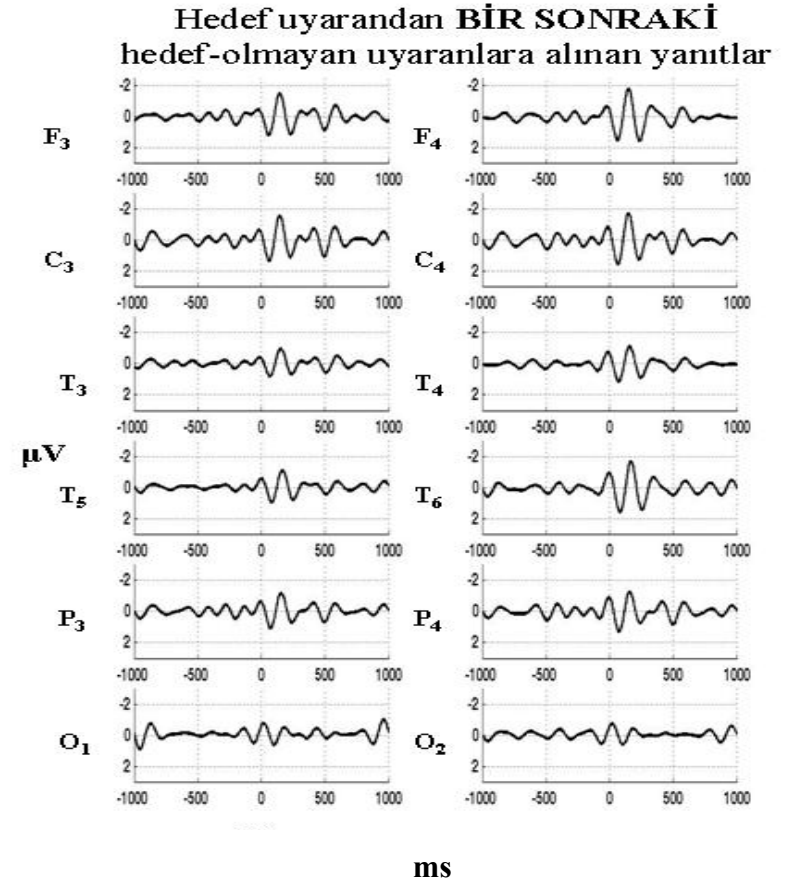
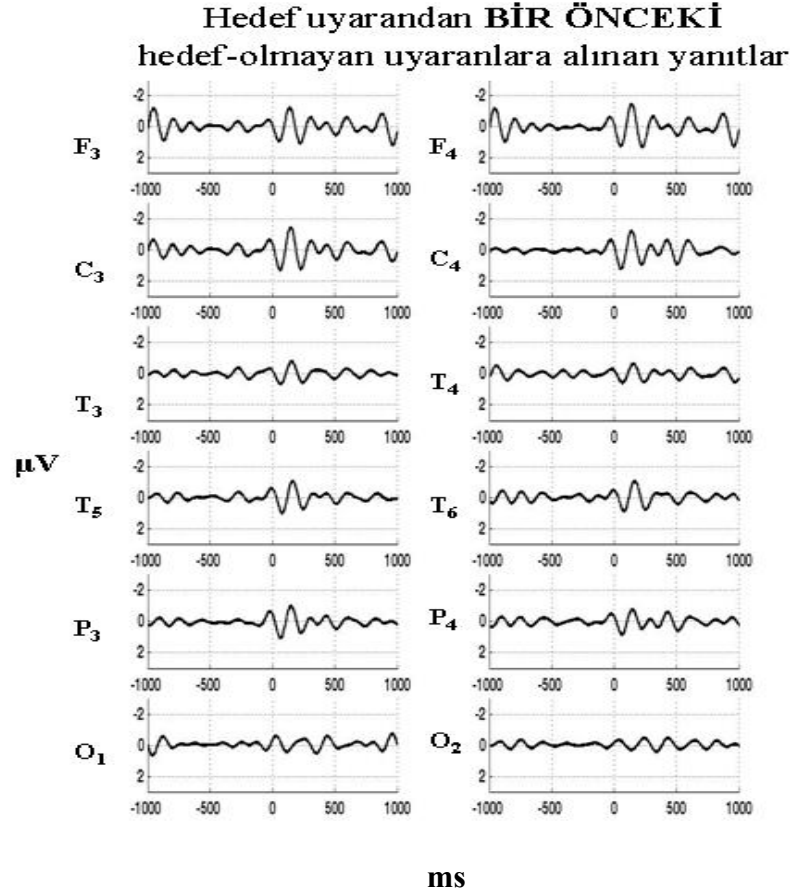
Alfa frekans bandında, T_4 ($p=0.007$) ve O_1 ($p=0.044$) bölgelerinde işitsel hedef uyaran sonrasındakiler (NTA) öncesindekilerden (NTB) büyük olarak bulunmuştur (Şekil 27).

GÖRSEL HEDEF UYARANI BEKLEME (ANTICIPATION) DELTA FREKANS BANDI



Şekil 22 Görsel hedef uyarani bekleme durumunda beynin delta frekans bandında verdiği yanıtlar
Solda hedef uyarandan bir önce verilen hedef-olmayan uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar (NTB), sağda ise hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana (NTA) beynin verdiği yanıtlar bulunmaktadır.

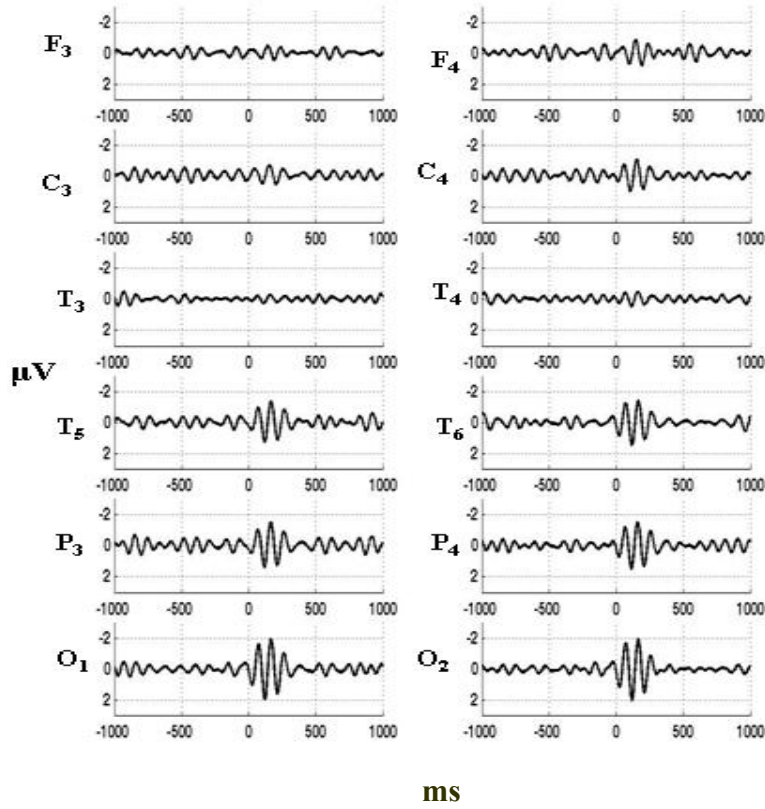
GÖRSEL HEDEF UYARANI BEKLEME (ANTICIPATION) TETA FREKANS BANDI



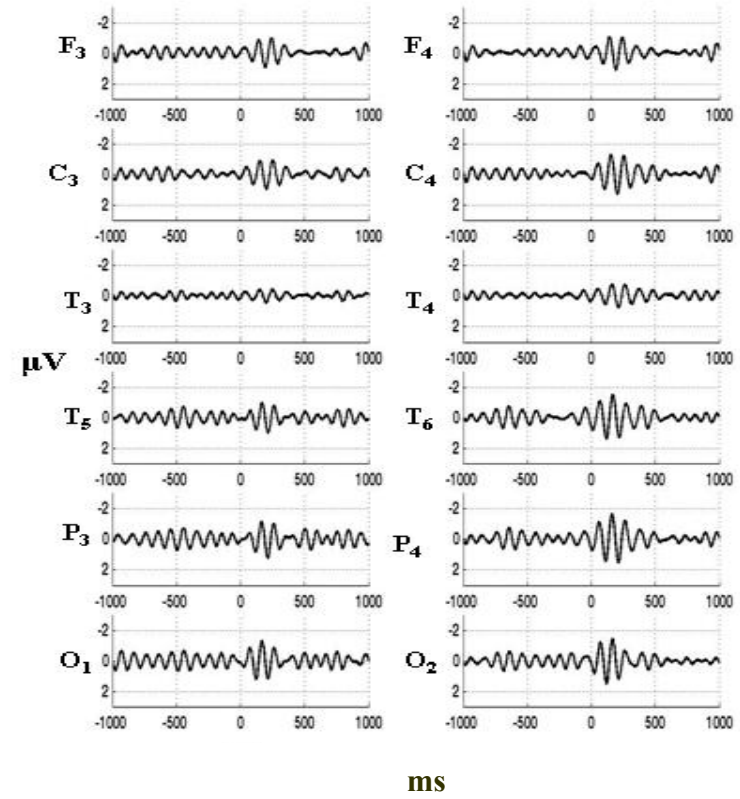
Şekil 23 Görsel hedef uyarani bekleme durumunda beynin teta frekans bandında verdiği yanıtlar
Solda hedef uyarandan bir önce verilen hedef-olmayan uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar (NTB), sağda ise hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana (NTA) beynin verdiği yanıtlar bulunmaktadır.

GÖRSEL HEDEF UYARANI BEKLEME (ANTICIPATION) ALFA FREKANS BANDI

Hedef uyarandan BİR ÖNCEKİ
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



Hedef uyarandan BİR SONRAKİ
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar

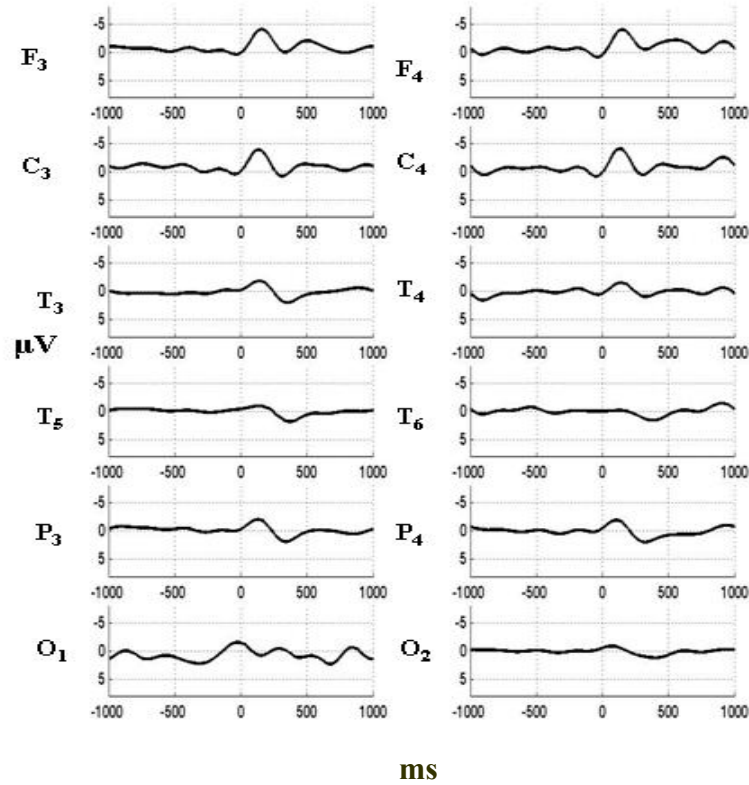


Şekil 24 Görsel hedef uyarani bekleme durumunda beynin alfa frekans bandında verdiği yanıtlar

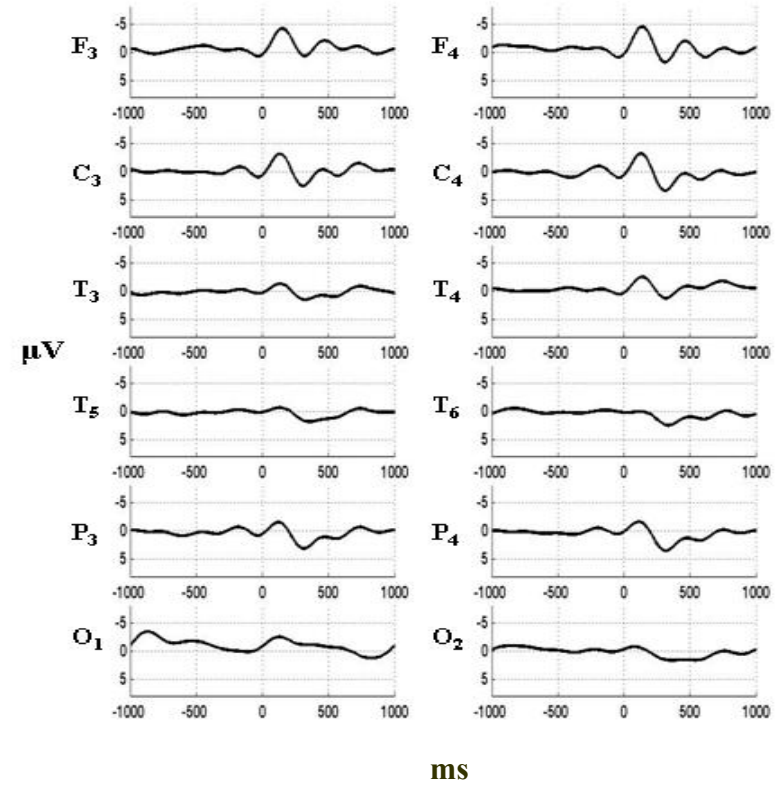
Solda hedef uyarandan bir önce verilen hedef-olmayan uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar (NTB), sağda ise hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana (NTA) beynin verdiği yanıtlar bulunmaktadır.

İŞİTSEL HEDEF UYARANI BEKLEME (ANTICIPATION) DELTA FREKANS BANDI

Hedef uyarandan **BİR ÖNCEKİ**
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



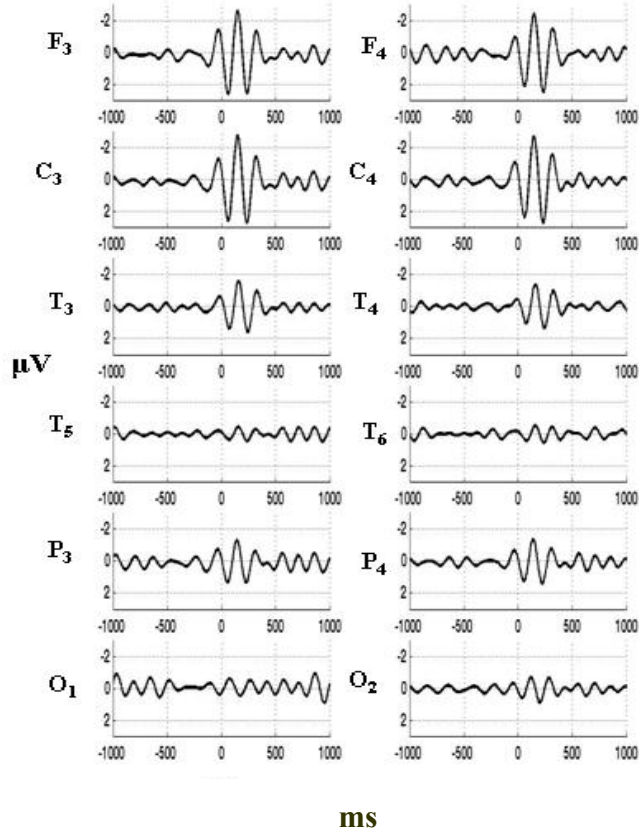
Hedef uyarandan **BİR SONRAKİ**
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



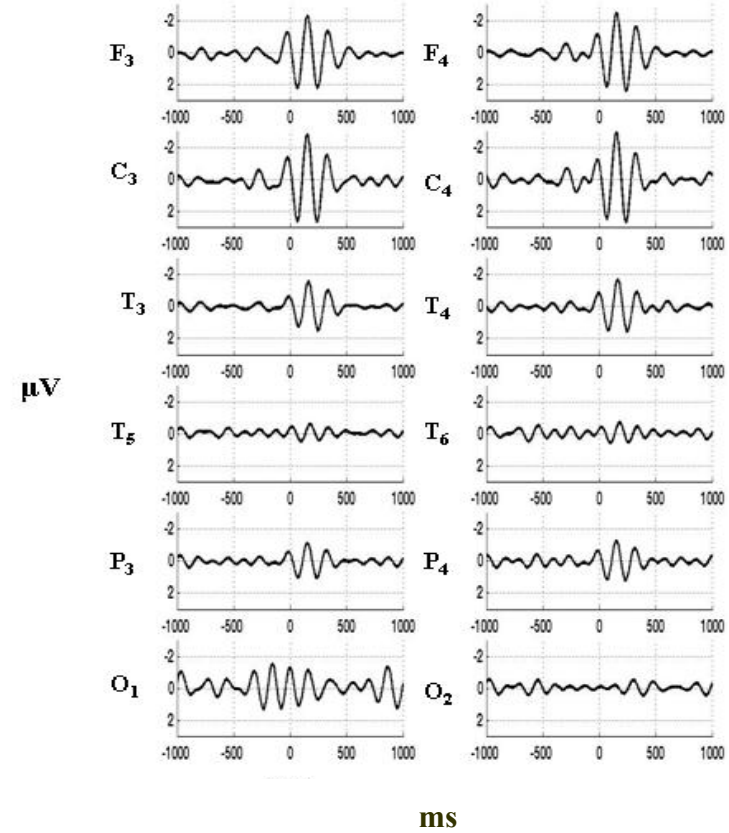
Şekil 25 İşitsel hedef uyarani bekleme durumunda beynin delta frekans bandında verdiği yanıtlar
Solda hedef uyarandan bir önce verilen hedef-olmayan uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar (NTB), sağda ise hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana (NTA) beynin verdiği yanıtlar bulunmaktadır.

İŞİTSEL HEDEF UYARANI BEKLEME (ANTICIPATION) TETA FREKANS BANDI

Hedef uyarandan **BİR ÖNCEKİ**
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



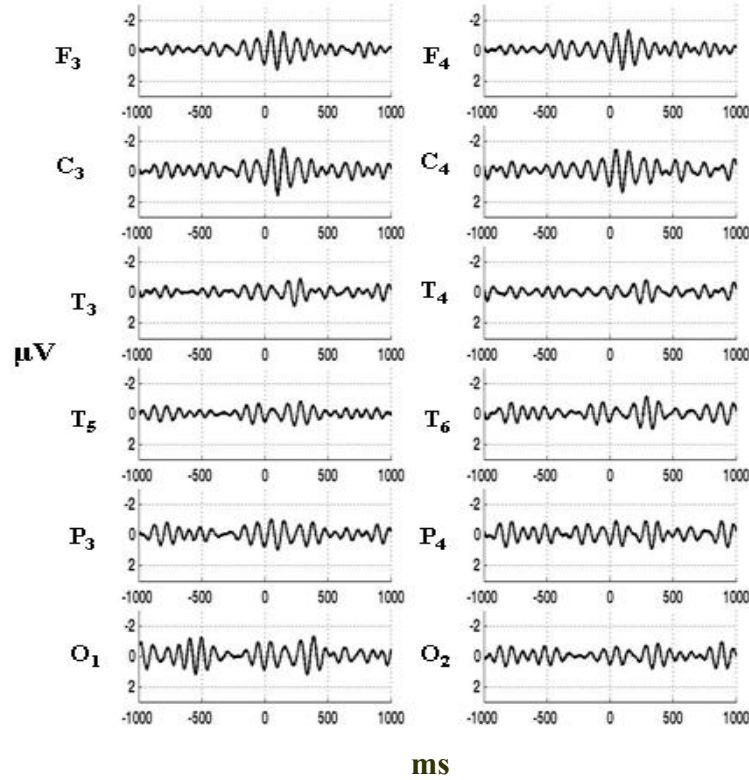
Hedef uyarandan **BİR SONRAKİ**
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



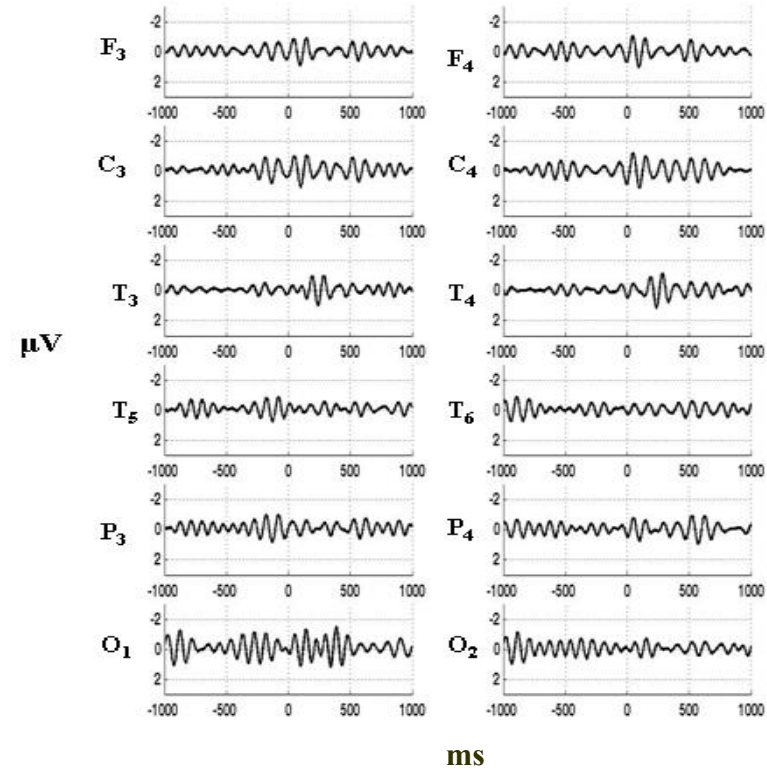
Şekil 26 İşitsel hedef uyarani bekleme durumunda beynin teta frekans bandında verdiği yanıtlar
Solda hedef uyarandan bir önce verilen hedef-olmayan uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar (NTB), sağda ise hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana (NTA) beynin verdiği yanıtlar bulunmaktadır.

İŞİTSEL HEDEF UYARANI BEKLEME (ANTICIPATION) ALFA FREKANS BANDI

Hedef uyarandan **BİR ÖNCEKİ**
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



Hedef uyarandan **BİR SONRAKİ**
hedef-olmayan uyarılara alınan yanıtlar



Şekil 27 İşitsel hedef uyarani bekleme durumunda beynin alfa frekans bandında verdiği yanıtlar

Solda hedef uyarandan bir önce verilen hedef-olmayan uyarılara karşı beynin verdiği yanıtlar (NTB), sağda ise hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana (NTA) beynin verdiği yanıtlar bulunmaktadır.

4.2.2 *Hedef-olmayan(standart) uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi*

Görsel Seyrek uyaran paradigmasında;

Deneylerin ortalamaları incelendiğinde, teta frekans bandında yanıtlarda değişme gözlenmezken (Şekil 29), delta ve alfa frekans bantlarında deney sonunda birçok elektrot alanında yanıtların genliğinde azalma görülmektedir (Şekil 28, 30). İstatistiksel olarak ölçüm değerleri kıyaslandığında, delta yanıtlarında sağ frontal bölgede (F₄) %21 (p=0.43) ve sol temporal bölgede (T₅) %20 (p=0.047) yanıtların genliğinde azalma gösterilmiştir (Şekil 28).

Teta frekans bandında, yanıtların genliğinde değişme olmamaktadır (Şekil 29).

Alfa frekans bandında, kafatasının arka bölgelerinde (T₅, T₆, P₃, P₄, O₁) yanıtların genliğinde azalma istatistiksel olarak gösterilmiştir (T₅; p=0.035, T₆; p=0.020, P₃; p=0.014, P₄; p=0.044, O₁; p=0.003) (Şekil 30).

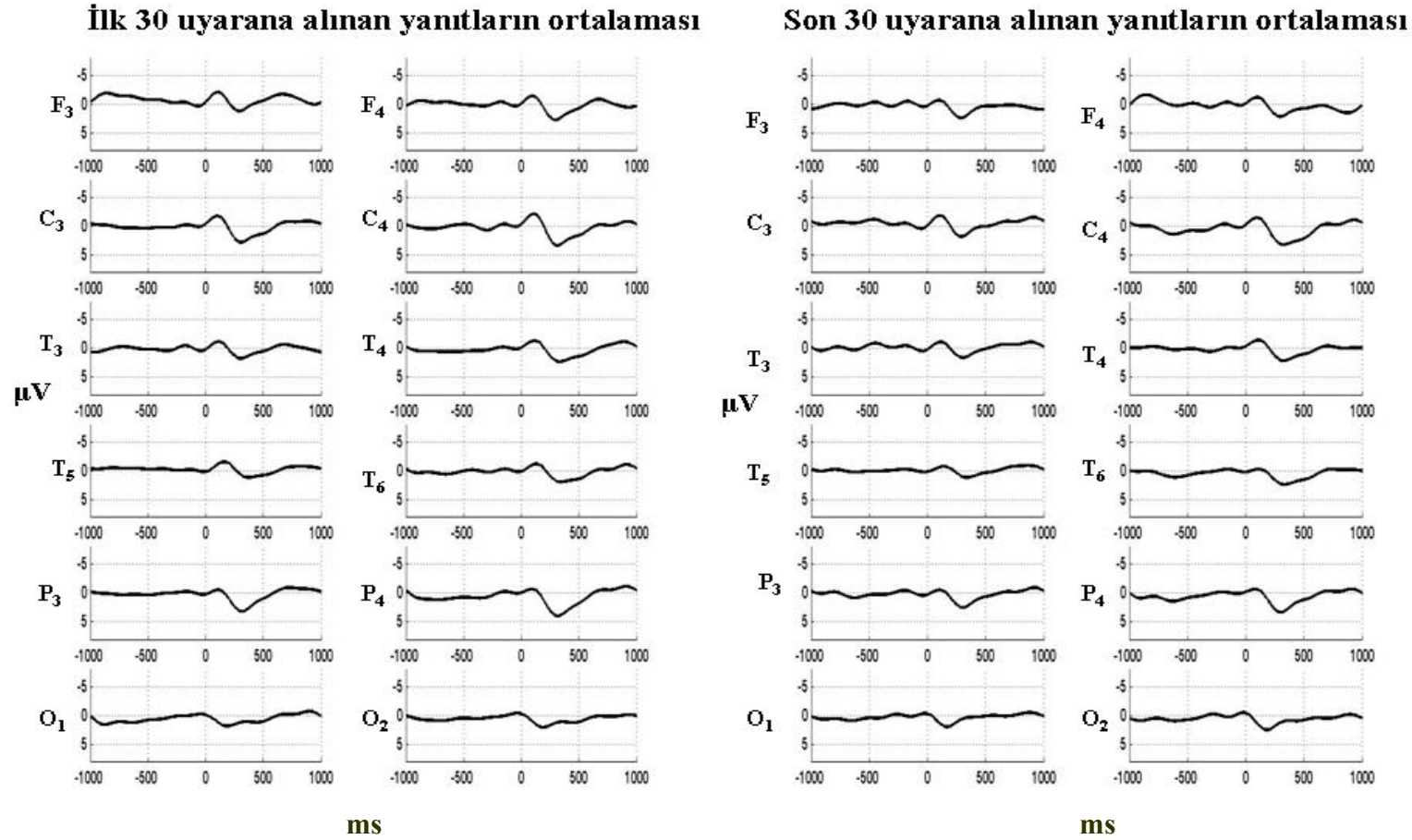
İşitsel seyrek uyaran paradigmasında;

Deneylerin ortalamaları incelendiğinde, delta yanıtlarında deneyler sonunda yaygın olarak birçok elektrot bölgesinde azalma gözlenirken (Şekil 31), alfa frekans bandında frontal bölgelerde ve sağ sentral bölgede azalmadan söz edilebilir (Şekil 33). Teta frekans bandında yanıtların genlikleri arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemektedir (Şekil 32).

Delta frekans bandında, hedef-olmayan uyarana karşı olan yanıtlar, deneylerin sonunda özellikle sentral ve parietal bölgelerde (C_Z, C₃, C₄, P₃, P₄) azalmıştır. C_Z de %21 (p=0.044), C₃ de % 17 (p=0.044), C₄ de %23 (p=0.013), P₃ %30 (p=0.010), P₄ de %37 (p=0.007) küçülme bulunmuştur (Şekil 31).

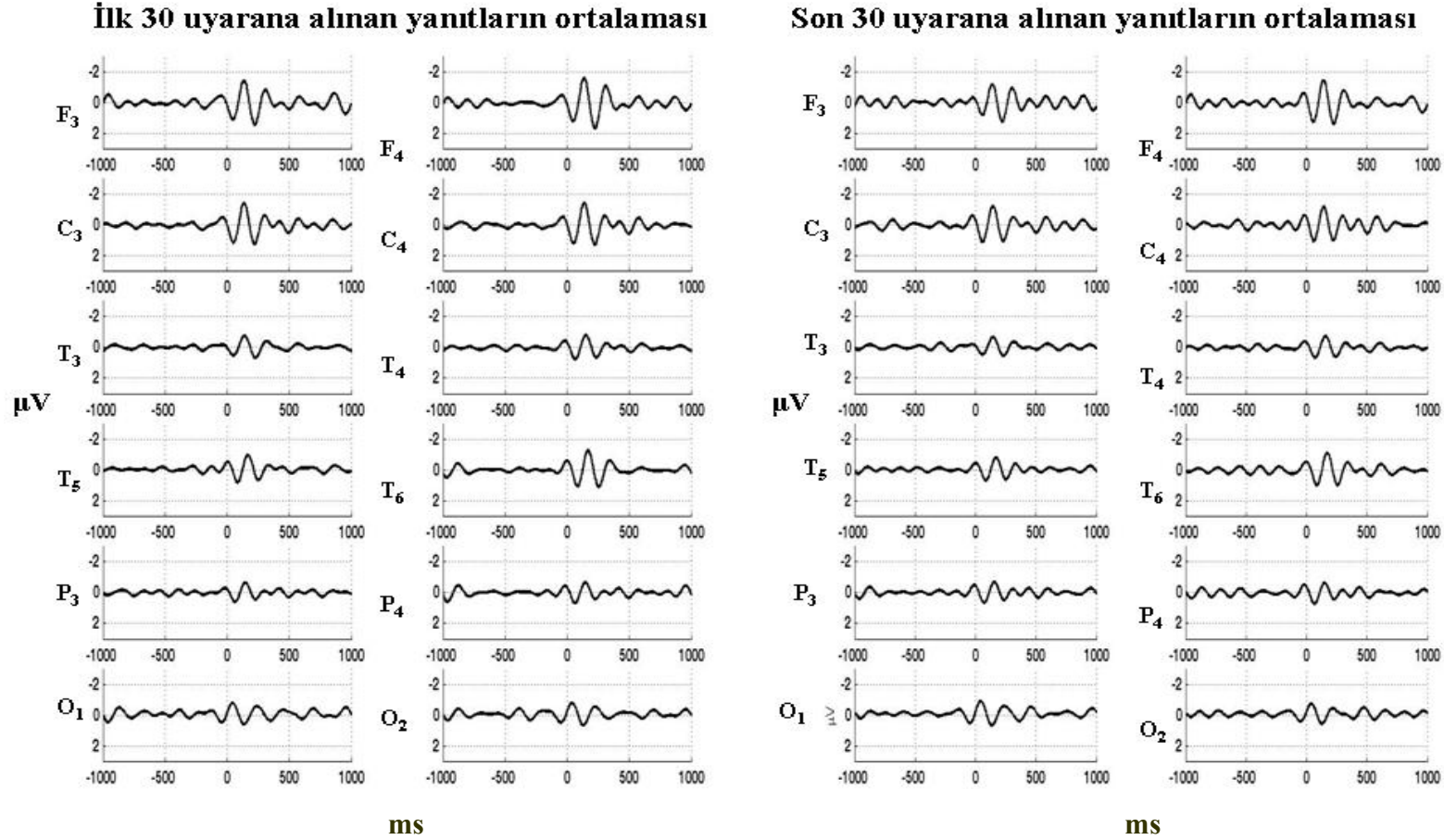
Teta frekans bandında ve *alfa frekans bandında* yanıtların genliğinde herhangi bir anlamlı fark bulunmamıştır (Şekil 32, 33).

GÖRSEL HEDEF-OLMAYAN UYARAN DELTA FREKANS BANDI



Şekil 28 Delta frekans bandında, görsel hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi
Solda deneyin başında verilen ilk 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması, sağda ise son 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması bulunmaktadır.

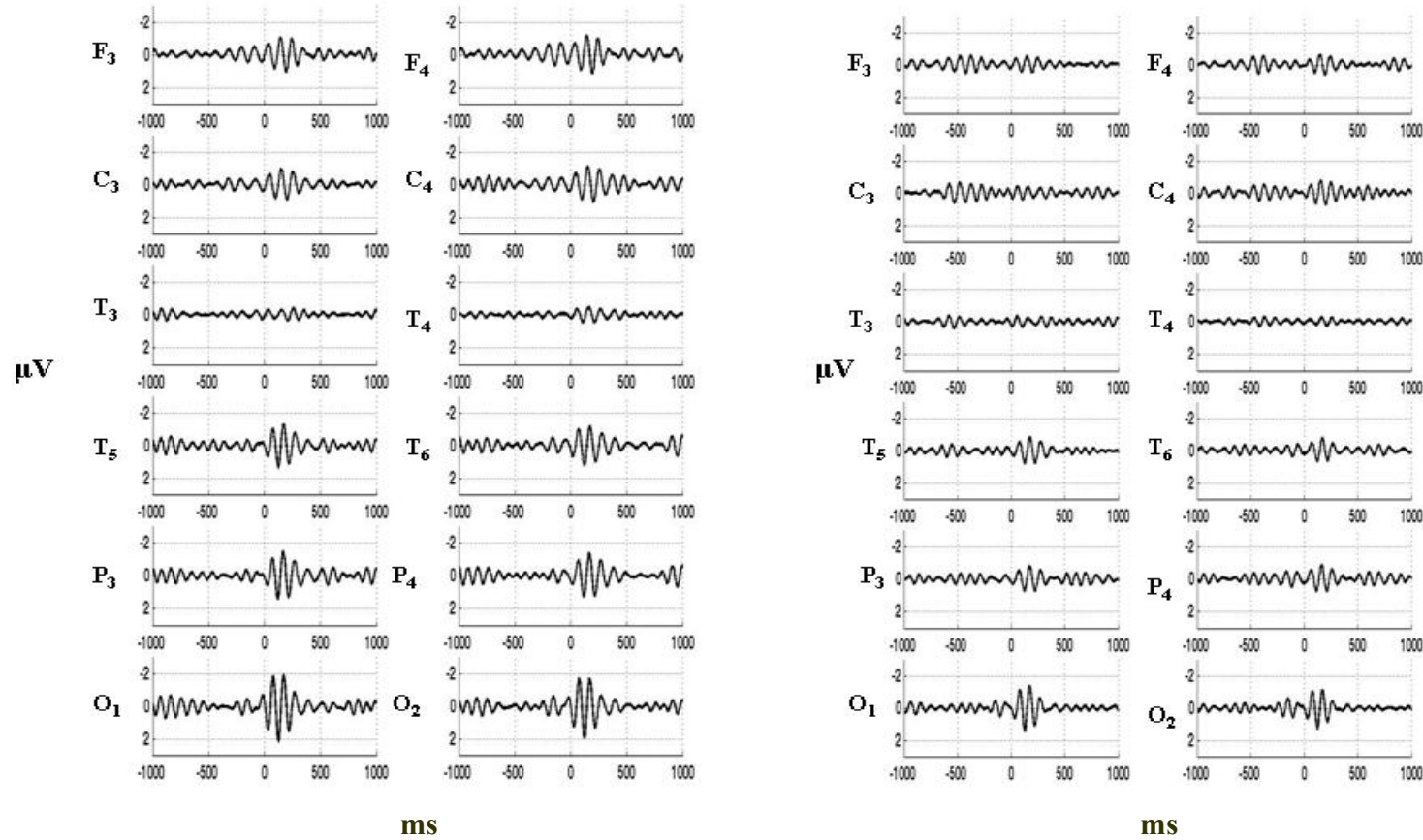
GÖRSEL HEDEF-OLMAYAN UYARAN TETA FREKANS BANDI



Şekil 29 Teta frekans bandında, görsel hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi
Solda deneyin başında verilen ilk 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması, sağda ise son 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması bulunmaktadır.

GÖRSEL HEDEF-OLMAYAN UYARAN ALFA FREKANS BANDI

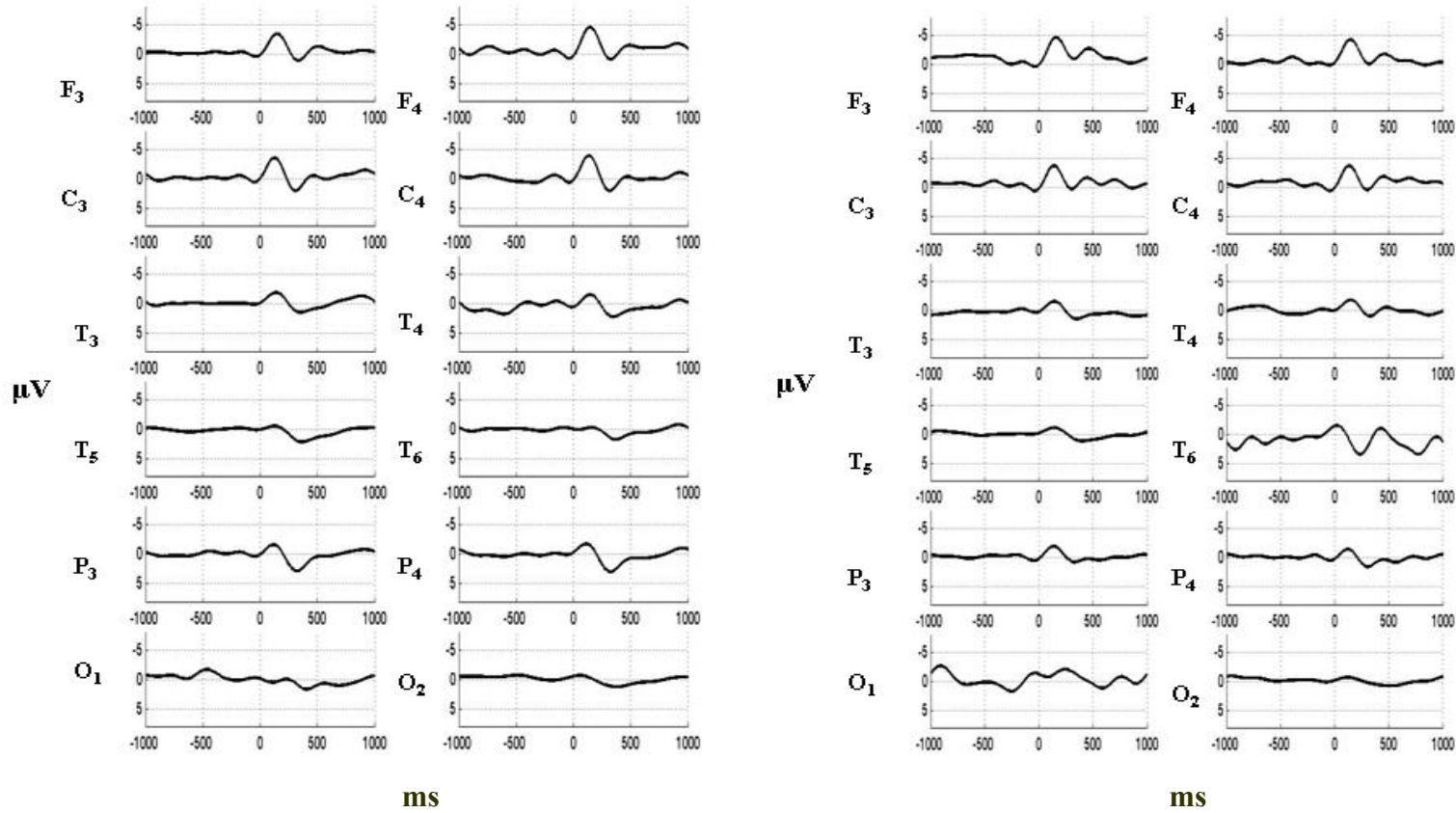
İLK 30 Uyarana Alınan Yanıtların Ortalaması SON 30 Uyarana Alınan Yanıtların Ortalaması



Şekil 30 Alfa frekans bandında, görsel hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi
Solda deneyin başında verilen ilk 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması, sağda ise son 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması bulunmaktadır.

İŞİTSEL HEDEF-OLMAYAN UYARAN DELTA FREKANS BANDI

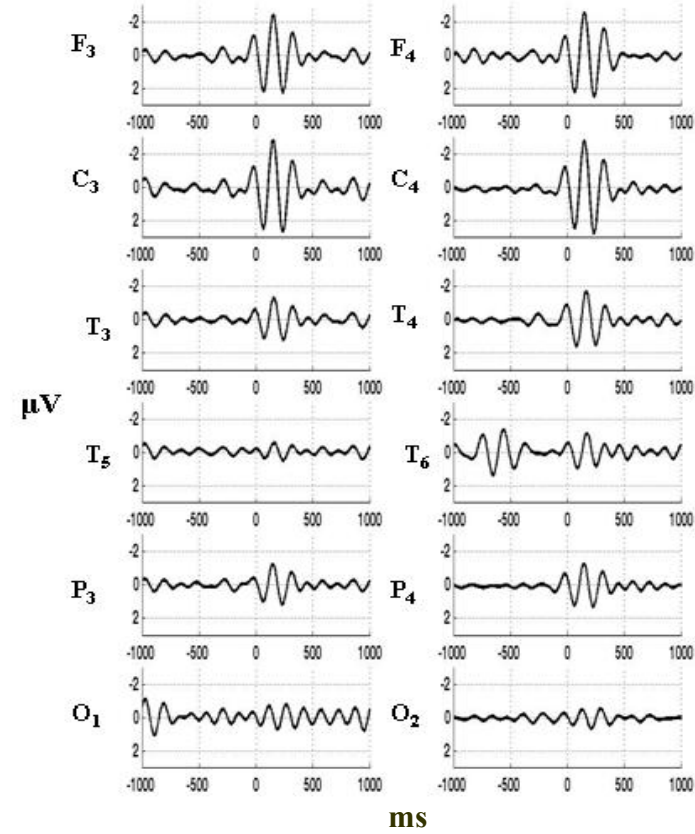
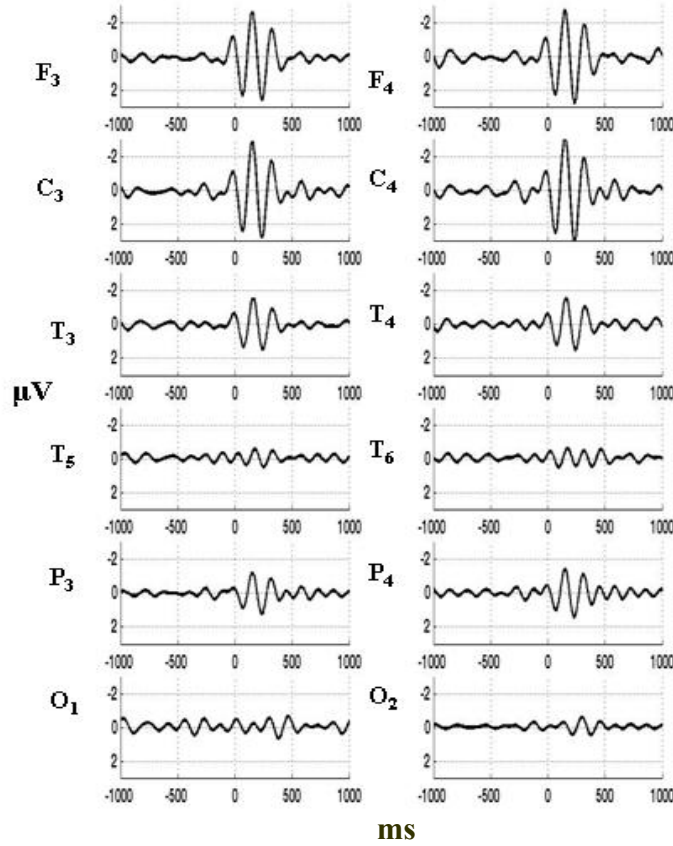
İLK 30 Uyarana Alınan Yanıtların Ortalaması SON 30 Uyarana Alınan Yanıtların Ortalaması



Şekil 31 Delta frekans bandında, işitsel hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi
Solda deneyin başında verilen ilk 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması, sağda ise son 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması bulunmaktadır.

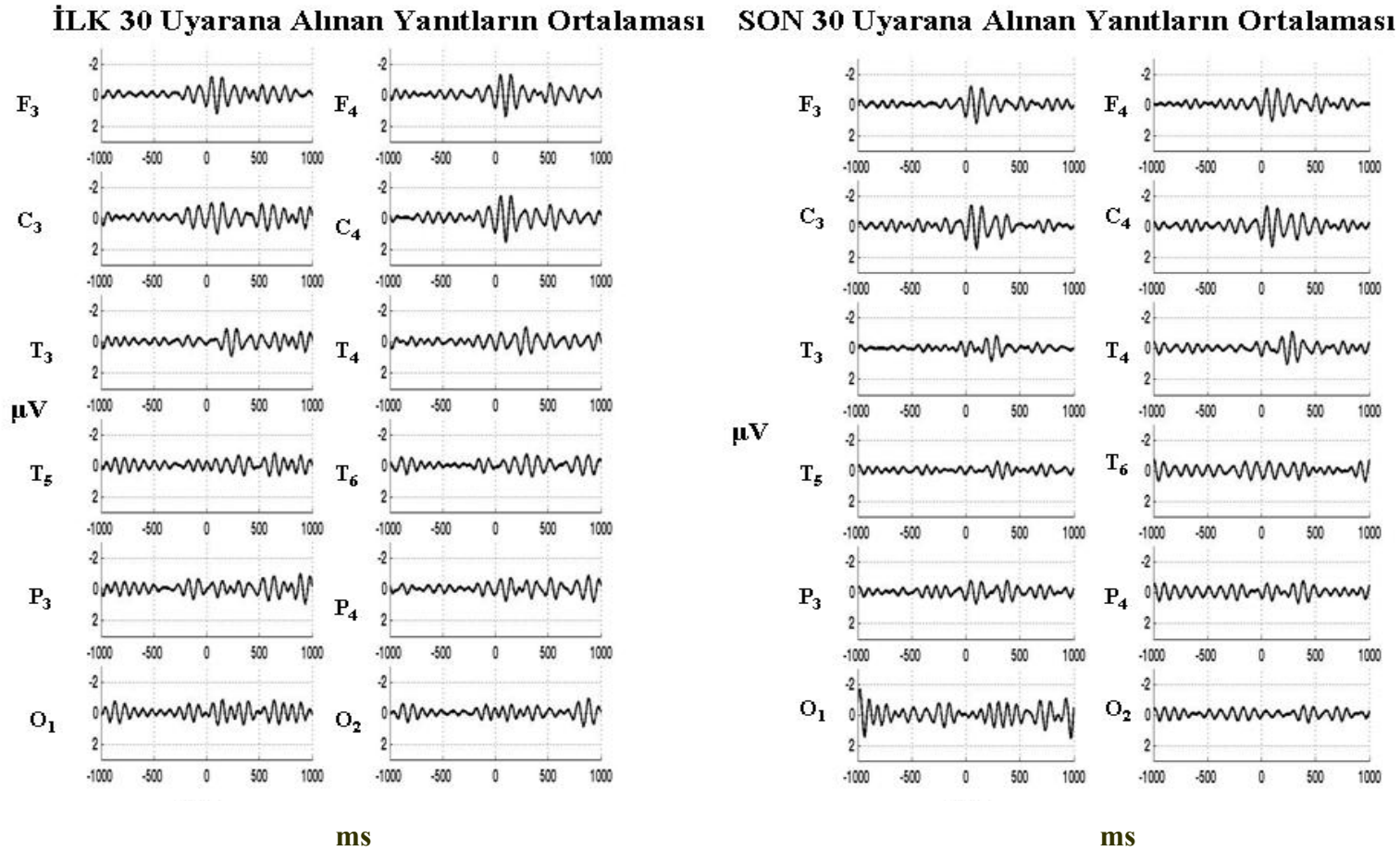
İŞİTSEL HEDEF-OLMAYAN UYARAN TETA FREKANS BANDI

İLK 30 Uyarana Alınan Yanıtların Ortalaması SON 30 Uyarana Alınan Yanıtların Ortalaması



Şekil 32 Teta frekans bandında, işitsel hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi
Solda deneyin başında verilen ilk 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması, sağda ise son 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması bulunmaktadır.

İŞİTSEL HEDEF-OLMAYAN UYARAN ALFA FREKANS BANDI



Şekil 33 Alfa frekans bandında, işitsel hedef-olmayan uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi
Solda deneyin başında verilen ilk 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması, sağda ise son 30 uyarana alınan yanıtların ortalaması bulunmaktadır.

4.2.3 Hedef uyarının deneysel süreç içindeki gelişimi

Görsel Seyrek Uyarın Paradigmasında;

Deneylerin ortalamaları incelendiğinde, hedef uyarana karşı ölçülen delta yanıtlarında deneyler sonunda yaygın olarak azalma gözlenmiştir. Teta frekans bandında frontal ve sentral bölgelerde azalma gözlenirken, alfa frekans bandında frontal ve sentral bölgelerde artma gözlenmiştir. Hem deneylerin başında hem de sonlarında, kortekste teta anterior bölgede, alfa yanıtları ise posterior bölgelerde net ve büyük genlikleri ile ölçülen frekans aralıkları olmuştur (Şekil 34, 35, 36).

İstatistiksel analizlerde, ölçüm değerleri kıyaslandığında; *delta yanıtlarında* C₃ elektrot bölgesinde (p=0.048), T₅ elektrot bölgesinde (p=0.048) küçülme gösterilmiştir (Şekil 34).

Teta frekans bandında O₁ elektrot bölgesinde de %18 (p=0.041) azalma (Şekil 35) ve *alfa frekans bandında* C₃ elektrot bölgesinde % 30 (p=0.047) artma gösterilmiştir (Şekil 36).

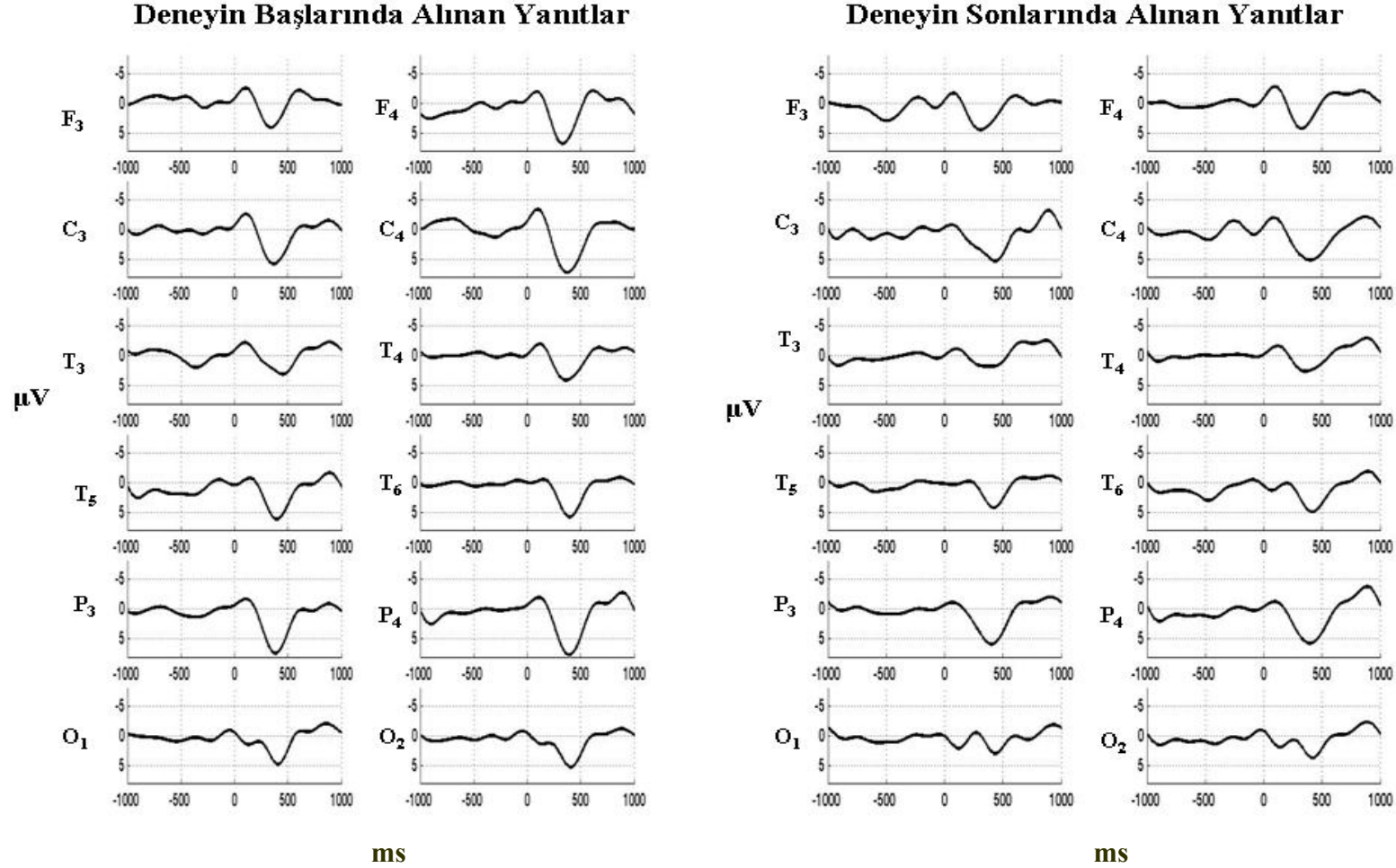
İşitsel Seyrek Uyarın Paradigmasında;

Delta frekans bandında hedef uyarana karşı olan yanıtlar deneylerin sonunda yaygın olarak birçok elektrot ölçüm alanında azalma göstermiştir. F₃ de delta yanıtları % 19, F₄ de % 31, C_z de % 30, C₃ % 24, C₄ % 28 ve P₄ % 17 oranlarında küçülme göstermiştir (p<0.05) (Şekil 37).

Teta frekans bandında, deney süresince hedef uyarana alınan yanıtlarda anlamlı farklılık bulunmamıştır (Şekil 38).

Alfa frekans bandında, grand averajlar incelendiğinde alfada hedef uyarana alınan yanıtlarda deney sonunda artma gözlenirken, istatistiksel anlamlı farklılık bulunmamıştır (Şekil 39).

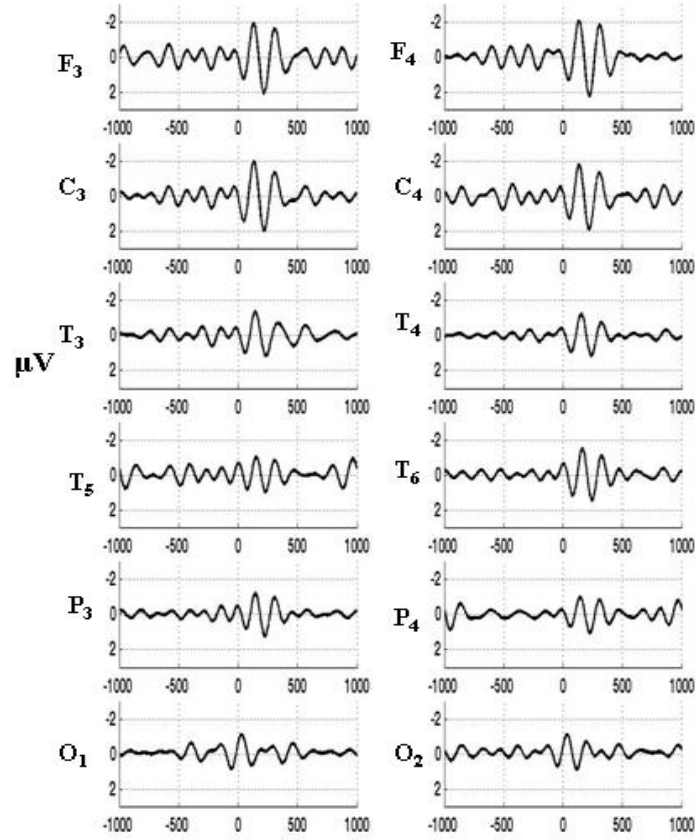
GÖRSEL HEDEF UYARAN DELTA FREKANS BANDI



Şekil 34 Delta frekans bandında, görsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar
Solda deneyin başında hedef uyarana karşı alınan yanıtlar, sağda ise deneyin sonlarında alınan yanıtların ortalamaları görülmektedir.

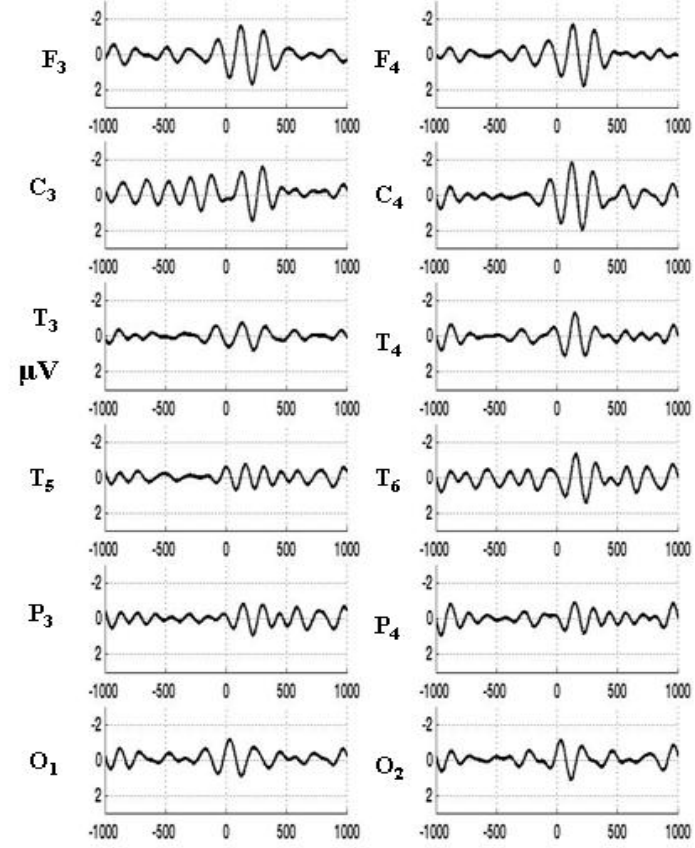
GÖRSEL HEDEF UYARAN TETA FREKANS BANDI

Deneyin Başlarında Alınan Yanıtlar



ms

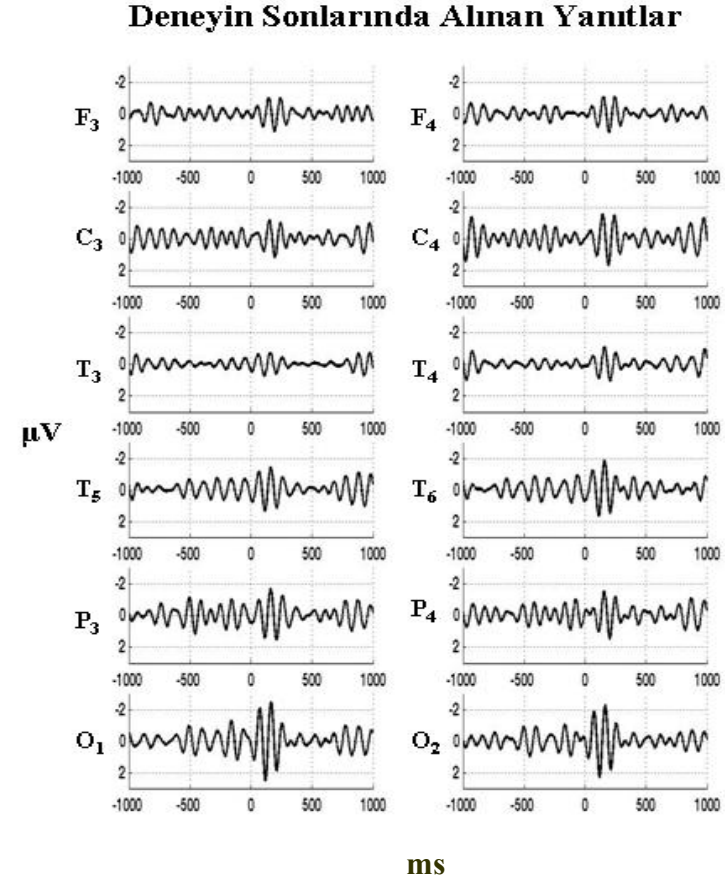
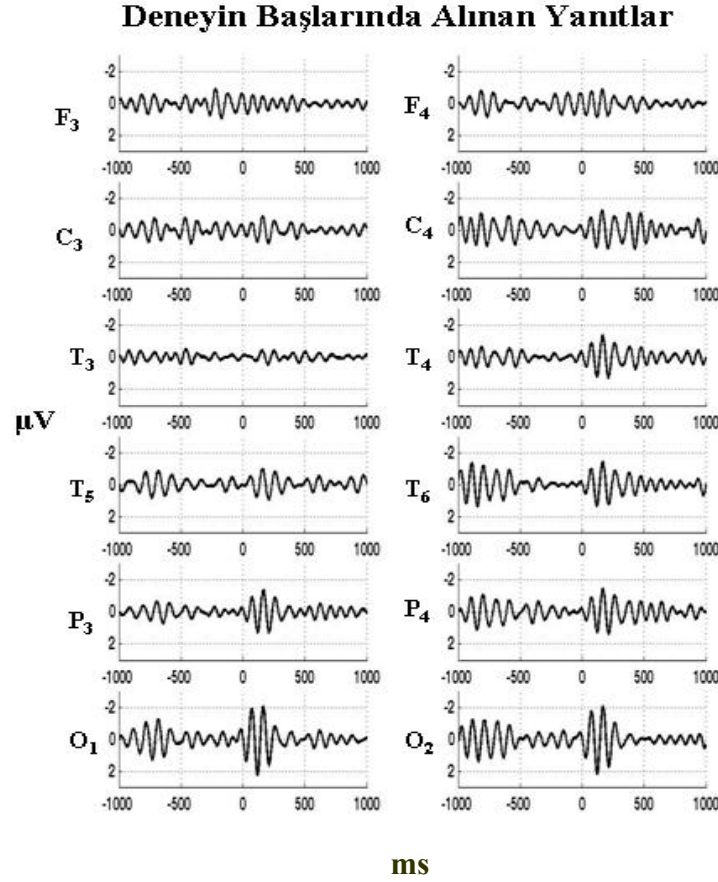
Deneyin Sonlarında Alınan Yanıtlar



ms

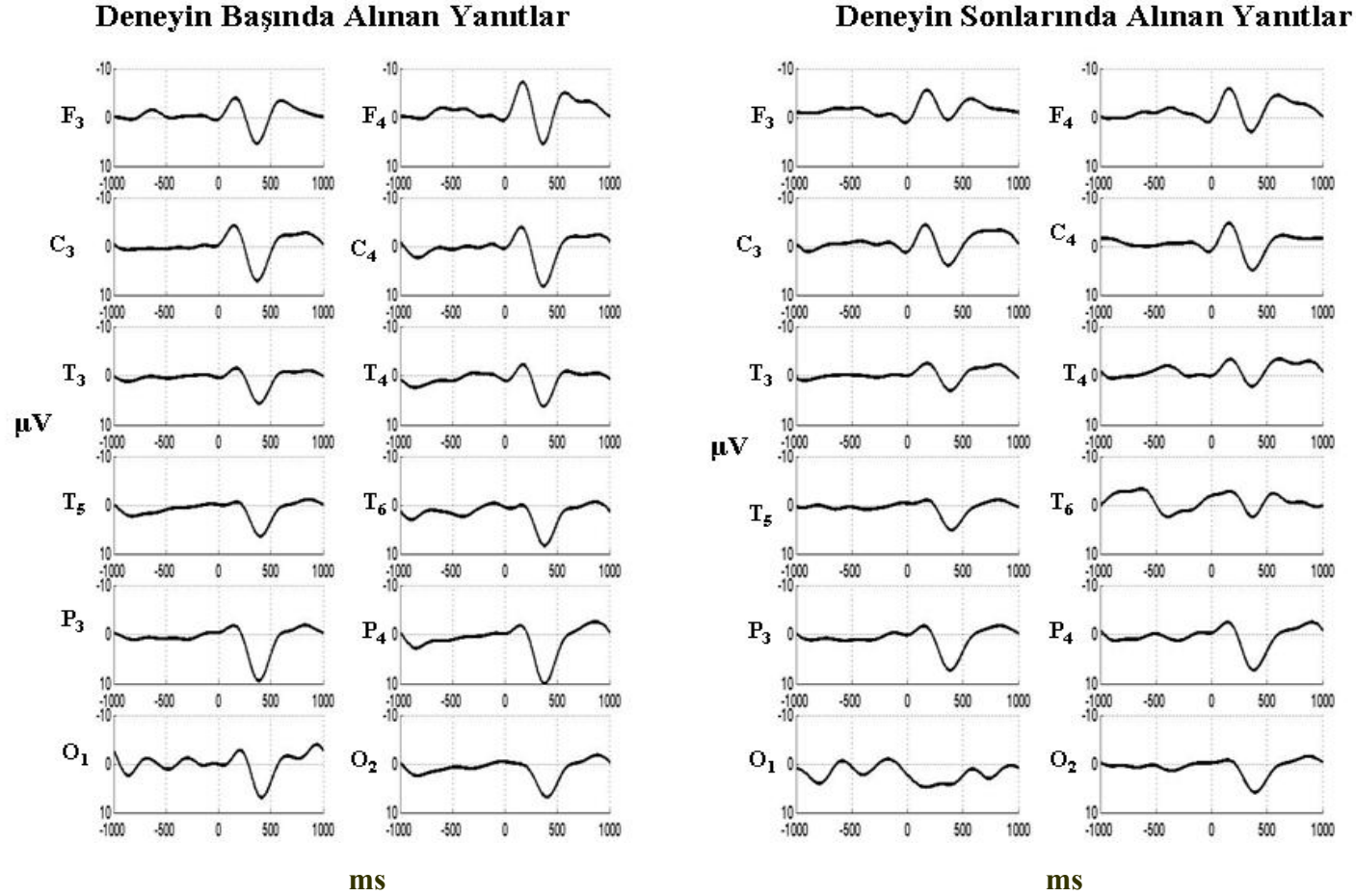
Şekil 35 Teta frekans bandında, görsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar
Solda deneyin başında hedef uyarana karşı alınan yanıtlar, sağda ise deneyin sonlarında alınan yanıtların ortalamaları görülmektedir.

GÖRSEL HEDEF UYARAN ALFA FREKANS BANDI



Şekil 36 Alfa frekans bandında, görsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar
Solda deneyin başında hedef uyarana karşı alınan yanıtlar, sağda ise deneyin sonlarında alınan yanıtların ortalamaları görülmektedir.

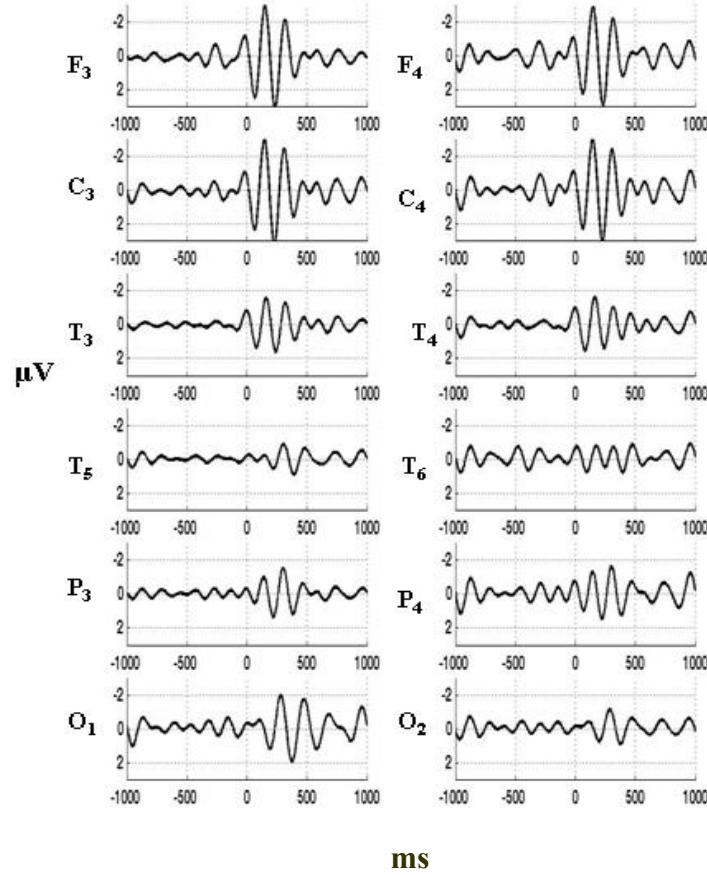
İŞİTSEL HEDEF UYARAN DELTA FREKANS BANDI



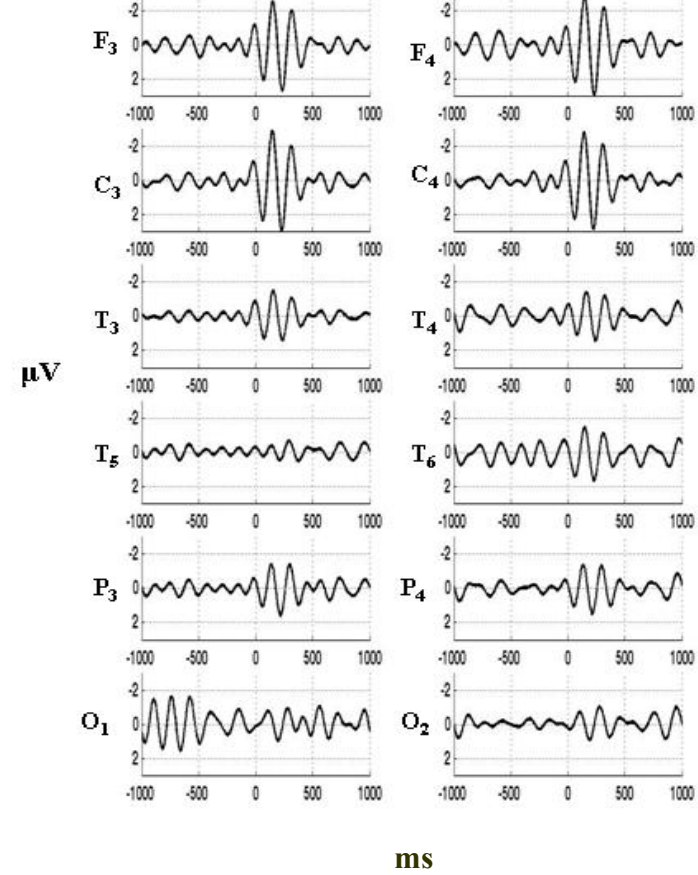
Şekil 37 Delta frekans bandında, işitsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar
Solda deneyin başında hedef uyarana karşı alınan yanıtlar, sağda ise deneyin sonlarında alınan yanıtların ortalamaları görülmektedir.

İŞİTSEL HEDEF UYARAN TETA FREKANS BANDI

Deneyin Başlarında Alınan Yanıtlar



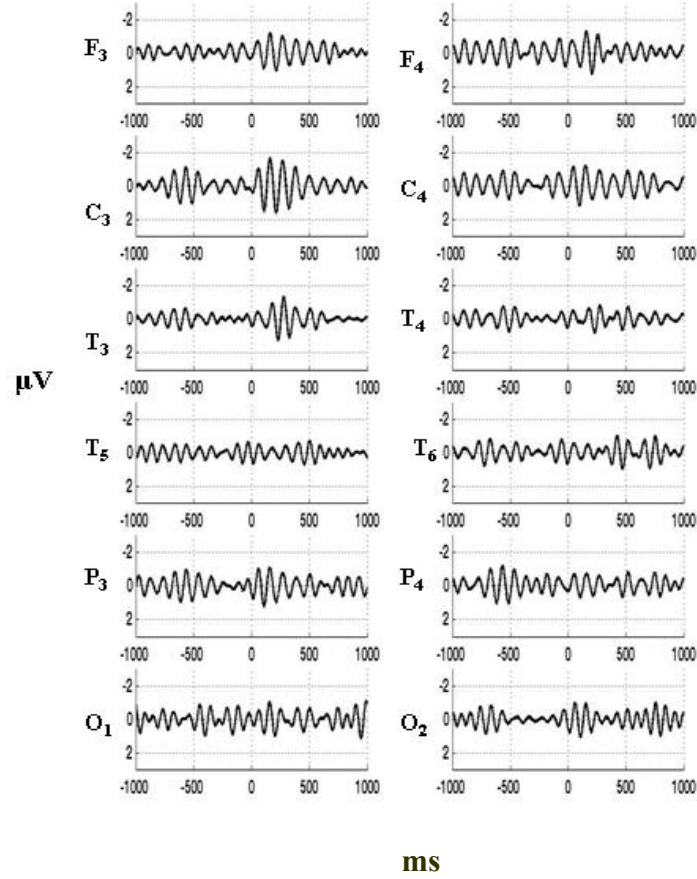
Deneyin Sonlarında Alınan Yanıtlar



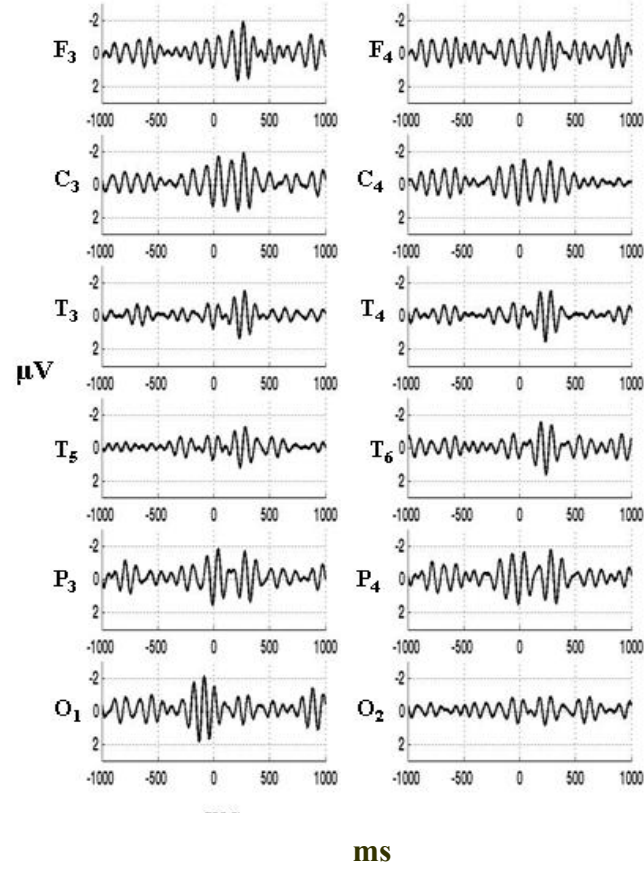
Şekil 38 Teta frekans bandında, işitsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar
Solda deneyin başında hedef uyarana karşı alınan yanıtlar, sağda ise deneyin sonlarında alınan yanıtların ortalamaları görülmektedir.

İŞİTSEL HEDEF UYARAN ALFA FREKANS BANDI

Deneyin Başlarında Alınan Yanıtlar



Deneyin Sonlarında Alınan Yanıtlar



Şekil 39 Alfa frekans bandında, işitsel hedef uyarının deneysel süreç içinde öğrenilmesi ile oluşan yanıtlar
Solda deneyin başında hedef uyarana karşı alınan yanıtlar, sağda ise deneyin sonlarında alınan yanıtların ortalamaları görülmektedir.

4.2.4 *Bilinmeyen yüzü öğrenirken beyinde oluşan değişiklikler*

3.5-6.5 Hz frekans aralığında, büyükanne uyarana olan yanıtlar ile bilinmeyen yüz uyarana olan yanıtlar arasında anlamlı fark gözlenmemiştir.

Deneylerin başlangıç safhasında, 6-8 Hz frekans aralığında, F₄ bölgesinde büyükanne uyarana karşı, bilinmeyen yüz uyarandan % 20 daha büyük yanıt gözlenmiştir (p=0.018).

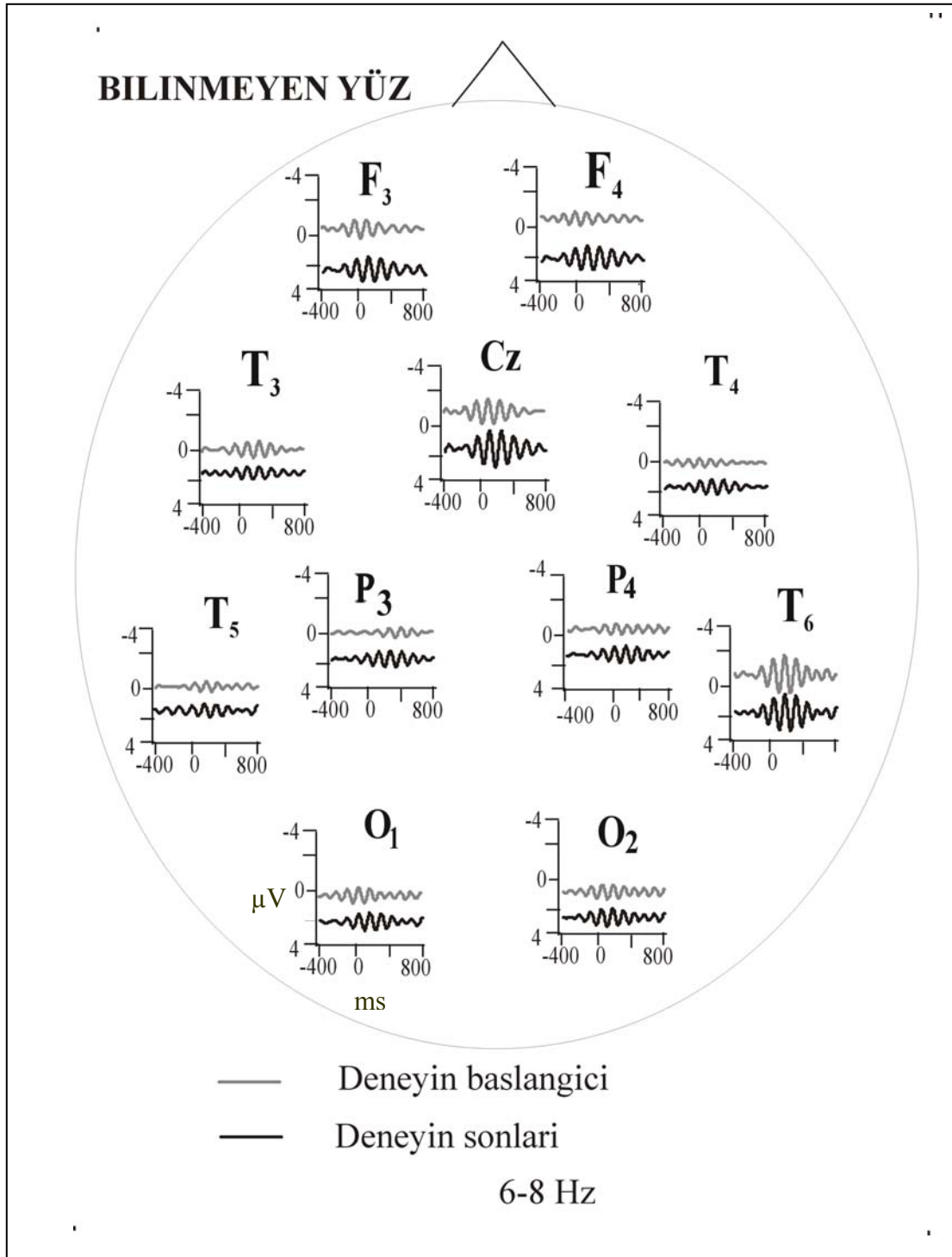
T₆ bölgesinde ise, bilinmeyen yüze karşı olan yanıtlar, büyükanneye karşı olanlardan % 46 daha büyüktür (p=0.035).

Deneylerin başı ve sonundaki, bilinmeyen yüze karşı olan hızlı teta yanıtlarının pek çok elektrot bölgesinde denemenin sonunda arttığı gözlenmiş ancak sağ frontal bölgede (F₄) ve sol oksipital (O₁) bölgede istatistiksel anlamlı farklılık gösterilmiştir (Şekil 40).

F₄ elektrot bölgesinde 6-8 Hz hızlı teta frekans bandında, bilinmeyen yüze karşı olan yanıtlarının denemenin sonunda, başına kıyasla % 26 büyüdüğü gözlenmiştir (p<0.05). O₁ bölgesinde de 6-8 Hz teta frekans bandındaki yanıtlar, deneyin sonunda % 11 büyük bulunmuştur (p<0.05).

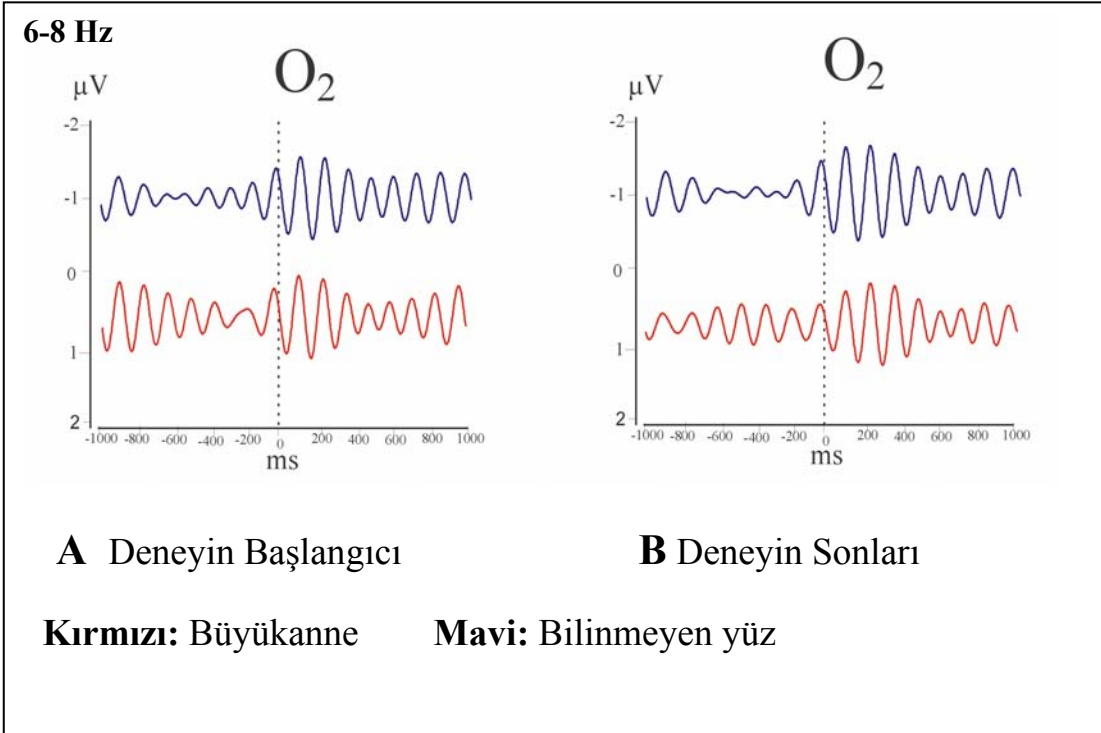
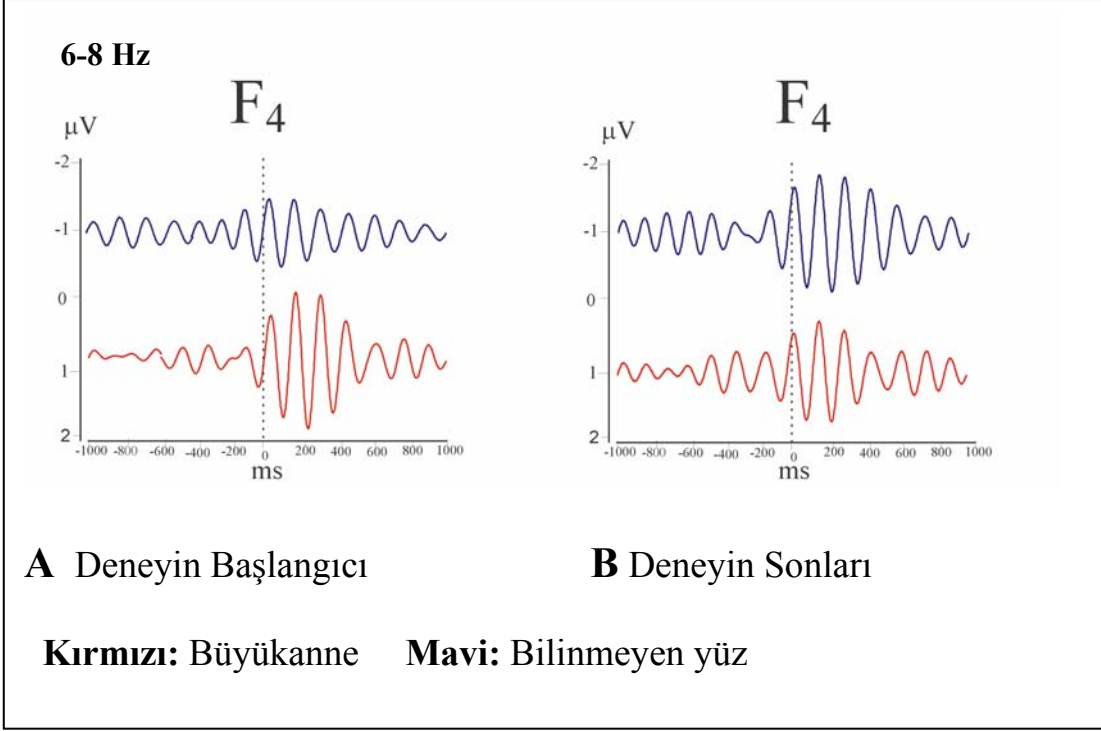
Şekil 41’de iki elektrot yanıtlarını daha belirgin gösterecek olursak, 6-8 Hz teta frekans bandında, sağ frontal bölgede denemenin başı ile sonu arasındaki fark çok belirgin iken sağ oksipital bölge için aynı farktan söz etmek mümkün değildir (Şekil 41).

Hızlı teta frekans yanıtlarında bireylerin verdikleri dağılım incelendiğinde ölçüm alanları arasındaki farklılıklar görülmüştür. Tablo 6’da deneye katılan kişilerin elektrot bölgelerinde vermiş olduğu teta yanıtlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 40 6–8 Hz frekans bandında tüm kafada deneme başı ve sonu yanıtları
Siyah çizgi ile deneme sonunda hızlı teta yanıtları, gri çizgi ile deneme başı yanıtları
gösterilmektedir. Yanıtlar bilinmeyen yüz uyarısına karşı 11 elektrot bölgesinde -400–800
ms arasındadır.

26 Bireyin Ortalaması



Şekil 41 Deney başı ve sonunda sağ frontal ve sağ oksipital yüz yanıtları
Üstte sağ frontal bölgeden alınan 6–8 Hz yanıtlar A. Deney başı B. Deney sonu olarak gösterilmektedir. Altta, sağ oksipital bölgeden alınan 6–8 Hz yanıtlar A. Deney başı B. Deney sonu olarak gösterilmektedir. Kırmızı renkle bireyin kendi büyükannesine, mavi renkle tanımadığı yüze verilen yanıtlar belirtilmiştir.

Tablo 6 Yedi elektrot bölgesinde, istatistik ve yanıt açısından bireysel farklılıklar

Elektrot	F ₃	F ₄	C _z	P ₃	P ₄	O ₁	O ₂
Yanıttaki artma oranı	% 16.9	% 29.9	% 19.5	% 7.52	% 7.92	% 29,5	% 7.90
P	> 0.05	< 0.05 *	> 0.05	> 0.05	> 0.05	< 0.05 *	> 0.05
Artış gözlenen deney oranı	% 42	% 66	% 58	% 50	% 50	% 76	% 54

* İstatistiksel anlamlı sonuç

İlk satır, elektrot bölgesini, 2. satır deneyin başından sonuna teta yanıtının ne oranda arttığını, 3. satır istatistiksel anlamlılık durumunu, 4. satır ise gösterilen elektrot bölgesinde artış gösteren deney oranını göstermektedir.

Tabloda sonuçları verilen elektrot bölgeleri incelendiğinde hepsinde deney sonunda teta yanıtlarında artış görülmektedir. İstatistiksel olarak da anlamlı farkı gösterdiğimiz F₄ ve O₁ elektrotları yaklaşık % 70 deneyde artarken diğer elektrot bölgelerinde yaklaşık % 50 deneyde artış gözlenmiştir.

Ayrıca, kontrol amacıyla, kişinin kendi büyükannesinin resmine olan yanıtlar incelendiğinde, frontal ve oksipital bölgelerde deneyin başı ile sonu arasında herhangi bir fark gözlenmemiş yani yanıtlar aynı kalmıştır.

5. TARTIŞMA

Bu teze başlarken ortaya konan amaç ve hipotezler;

1. Bir görev altındayken beynin farklı uyaranlara verdiği yanıtların incelenmesi,
2. Uyaranların ve verilen görevin öğrenilmesi sırasında uyaranlara alınan yanıtlardaki değişikliklerin ölçülmesi,
3. Öğrenme stratejilerinin belirlenmesi ve ölçüm kriterleri geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılabilmesi,
4. Uzun süreli hedef olarak, patolojilerde öğrenme durumunun elektrofizyolojik yöntemlerle ölçülebilir hale gelmesi olarak belirlenmiştir.

Bu hedeflerden tez sürecine uygun olarak 1–3 nolu hedefler, bulgular, tartışma ve sonuç kısımlarında kapsamlı olarak gösterildiği gibi tamamlanmıştır. Dört nolu hedef uzun süreli hedef olup, tezi takip eden çalışmalarda ele alınacaktır.

Bu bölümde, tez kapsamındaki bulgular, kendi içinde ve literatürle karşılaştırılarak delta (0.5-3.5 Hz), teta (4-7 Hz) ve alfa (8-13 Hz) frekans bandlarındaki yanıtlar ve öğrenme-nöral plastisite ilişkisi açısından irdelenmektedir.

Seyrek uyaran paradigmlarında ve yüz tanıma paradigmasında, hedef uyaranlara karşı olan yanıtlar elektrot bölgesinin lokalizasyonu ve uyarının cinsine göre farklılıklar göstermişlerdir. Bu yanıtlar aşağıda frekans bandlarına göre gruplandırılarak tartışılmıştır.

Araştırmanın sonucunda bir kez daha görülmüştür ki; öğrenme tek başına işlenebilecek bir süreç değildir. Öğrenme, belleğin diğer alt birimleri ile (dikkat, algılama ve hatırlama örgüsü içinde) incelenmesi görüşü içerisinde ele alındığında bu alt bileşenlere de değinmek gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tez kapsamında uygulanan seyrek uyaran paradigmlarında, kişi farklı iki uyaranı ayırt edebilmek için dikkatini uyaranlara odaklamak durumundadır. Öncelikle uyaranları ve deneysel akışı öğrenmek zorundadır. Bireyin hedef-olmayan uyaranlar geldiğinde ayırt

ettikten sonra önemsememesi gereklidir. Hedef uyaranlarda ise, ayırt ettikten sonra onu aklında tutarak bir önceki sayıya ekleme, sayma işlemini yapması gerekmektedir. Çalışma belleğini de içeren bu dinamik süreç kişiden kişiye farklılıklar gösterebilmektedir. Öğrenmede bireyler kendilerine özgü bazı öğrenme stratejileri geliştirmektedirler.

Elde edilen bulgular ve literatür ışığında öğrenmenin kompleks bir işlem olması ve bireylerin farklı stratejiler geliştirmesi nedeniyle osilasyonel yanıtlar frekans bantları kapsamında tartışılacaktır. Tezde öncelikli ele alınan delta, teta, alfa frekans bantları yanıtları aşağıda yer almaktadır.

5.1 Delta Frekans Bandındaki Değişiklikler

Çalışmamızda, delta frekans bandında (0.5–3.5 Hz) elde edilen yanıtlar uygulanan her üç paradigmada da (görsel, işitsel ve yüz tanıma) tüm uyaranlara karşı incelenmiştir. Hedef uyaranlara karşı elde edilen delta yanıtları hedef-olmayan uyaranlardan daha büyük olarak bulunmuştur. Bu bulgular şimdiye kadar literatürde varolan yayınları desteklemektedir [45, 59, 104] Olay-ilişkili potansiyel deneylerinde bireyler farklı iki uyaranı tanımak, birbirinden ayırt etmek zorunda oldukları için kognitif süreçler aktive olmuştur. Ayrıca, hedef olarak belirlenmiş olan uyaranın mental olarak sayılması istenilmektedir. Bu durumda psikofizyolojik ve bilişsel süreç deneylerinin genel bakış açısı altında, yanıtların; uyaranları tanıma, ayırt etme ve karar verme işlevleri sonucunda ortaya çıktığını öngörebiliriz. Uyaran sonrasında oluşan ve kaydedilen OİP'nin yavaş salınımlı ve kararlı bileşenlerinden olan deltanın literatürde de, bilinçli ve bilişsel bir çaba ile bağlantılı olduğu, karar vermeye erişme durumunda elde edildiği ve hedef uyaranı tanıma işleminin sonucu olduğu belirtilmektedir ve bu nedenlerle kısa süreli bellekle de ilişkili bulunmuştur [1, 3, 40, 53, 65, 105]. Ayrıca, Başar Eroğlu ve ark [104]'a göre verilen ödev, sinyal karşılaştırmayı, karar vermeyi ve sürpriz etkisini içeriyorsa, görsel ve işitsel OİP yanıtlarının frekans dağılımları daha üst düzey karmaşıklığa ulaşmaktadır. Karmaşıklık düzeyi arttıkça, her lokalizasyonda delta yanıt farklılıkları ve geç teta yanıtlarında artışlar bildirilmiştir.

Bu çalışmada, beynin anterior bölge ile posterior bölge delta yanıtları karşılaştırıldığında, görsel ve işitsel seyrek uyaran paradigmalarında anterior bölgede delta yanıtları posterior

bölgeden büyük bulunmuştur. Bundan farklı olarak, yüz tanıma paradigmasında her iki yüz uyarana karşı alınan delta yanıtları posterior bölgede anterior bölgelerden daha büyük olarak bulunmuştur. Oksipital bölgedeki yüz uyarılarına karşı olan delta yanıtının büyüklüğü sinyal ayırt etme ve karar vermenin [65] yanı sıra yüz tanıma fonksiyonu ile ilgili olabilir [106]. Her iki yüz uyararı arasında oksipital bölgede birbirleri ile herhangi bir fark saptanamazken, yüz uyarıları ışık uyarısından büyük bulunmuştur.

Bu tez kapsamında, öğrenme stratejilerinin incelendiği analizlerde, seyrek uyarı paradigmasında deneyin başlangıcında alınan **delta yanıtları** hem görsel hem de işitsel paradigmada, hem hedef uyarı için hem de hedef-olmayan uyarı için incelendiğinde birçok elektrot bölgesinde **deneyin sonunda küçülmüştür**. Başlangıçta iki uyarının birbirinden ayrılması için daha fazla kognitif resource (kaynak) lar kullanılmaktadır. Ancak, deney ilerledikçe tanımlanan uyarı ve görev öğrenilmekte ve harcanan çaba azalmaktadır. Benzer şekilde, literatürde farklı zorluk derecesindeki paradigmalarda P300 cevabının da farklılaştığı gösterilmiştir. Zor görevlerde **P300 genliği** daha büyük ve **latansı** daha uzun bulunmuştur [47, 107, 108]. Ayrıca yapılan bir çalışmada zor bir görevi iyi yapan bireylerin ölçümlerinde elde edilen P300 genliğinin, bu görevde düşük performans gösteren bireylere göre daha büyük elde edilmesi, P300 tepkisini görevin zorluğunun yanı sıra bu görevdeki performansından etkileneceği düşünülmektedir [47, 109].

Polich ve Criado'a [110] göre; oddball deneylerinde, P3a frontal dikkat, P3b de temporo-parietal bellek işleme mekanizmaları ile ilişkilidir. Eldeki çok sayıda çalışmaya rağmen, salt OİP olarak elde edilen nöropsikolojik ve nörofarmakolojik sonuçlar, altta yatan işlevsel yapıları ve ağları göstermekte sınırlı kalmaktadır. OİP ile yapılan çalışmalarda osilasyon incelemelerinin bize daha fazla ışık tutabilmesi beklenmektedir. Bunu destekleyen şekilde, yapılan eski ve yeni araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, beyin osilasyonları beynin hemen tüm bölgelerinde oluşmakta, insan ve hayvan kognisyonunda çok çeşitli işlevler göstermektedirler [4, 111].

5.2 Teta Frekans Bandındaki Değişiklikler

Bu tez kapsamındaki sonuçlar ışığında, görsel, işitsel seyrek uyaran ve yüz tanıma paradigmlarında teta yanıtları **kalıcı** (persistent) bir **bileşen** olarak gözlenmiştir. Teta yanıtları korteksin kayıt alanlarında **yaygın** olarak görülmüştür. Teta yaygın ve öğrenme süreçlerinde önemli yer kaplayan bir osilasyon olduğu için literatürde daha kapsamlı olarak yer almaktadır.

Olaya ilişkili osilasyonlarda teta frekansındaki yanıtlar, deneye katılan bireyin uyaranla karşılaştığı her durumda kaydedilmekte ancak bu paradigmlar altında elde edilen teta genlik, süre ve latans bakımından farklılıklar göstermektedir. P300 ün elde edildiği deneylerde, teta aktivitesinin arttığı gözlenmiştir; bu bilgiler doğrultusunda tetanın belli bir deneysel paradigmaya özgü olmadığını, farklı deneysel paradigmlar altında elde edilen –modaliteden bağımsız- kognitif bir tepki olduğu [3, 4, 65, 94, 104, 112, 113] ve bellek süreçleri açısından da çok önemli olan **asosiyasyon işlevi** taşıdığı düşünülmektedir [3, 4, 114]. Başka çalışmalarda da teta tepkisinin **dikkatin değişik türlerini** yansıttığı gösterilmiştir [6, 7, 47, 109]. Özellikle, erken tetanın dikkat komponenti ile ilişkisinden söz edilmektedir. Seçici dikkat zor bilişsel süreçlerde odaklanmış dikkat haline dönüşebilir. Göreve bağlı durumlarda da **kısa süreli bellekten** söz edilebilir [56, 115].

Bu çalışmada, basit uyaranlar kullanılarak yapılan seyrek uyaran paradigmlarında hedef uyaranlara karşı olan teta yanıtları beynin anterior bölgelerinde posterior bölgelerden daha büyük olarak gözlenmiştir. Kompleks uyaranlar kullanılarak yapılan yüz tanıma deneylerinde ise, teta yanıtları posterior bölge ile anterior bölgede belirgin farklılıklar göstermemektedir.

Sauseng ve ark. [116], bir bellek görevinde teta ve alfanın rolünü araştırdıkları araştırmada, çalışma belleği ve uzun süreli bellek arasındaki geçişleri irdelemişlerdir. Sonuçlara göre, uzun süreli bellekten bilgi çağırılma aşamasında teta osilasyonları anteriordan posteriore doğru yayılım göstermektedir. Bilgi tam olarak geri kazanıldığında ise bu yayılımın yönü anteriore doğru dönmektedir. Çalışmadaki bulgular ışığında, teta ve alfa arasındaki ilişkinin uzun süreli ve çalışma bellekleri arasındaki bilgi transferini desteklediği ifade edilmiştir. Alfa yanıtları posteriordan anteriore yayılım göstermiş ve bunun bellek

performansı ile ters korele olduğu bildirilmiştir. Deneysel süreç içinde, alınan yanıtların lokalizasyonunda değişiklikler görülebilmektedir.

Bu çalışmadaki teta yanıtları, beynin tüm ölçüm alanlarında, tüm uyaranlara karşı ve değişik paradigmlar altında kararlı bir osilasyonel yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Başar ve ark. yapmış oldukları bir seri araştırmada tetayı P300 benzeri deneylerde en tutarlı bileşen olarak bulmuşlardır [2, 3, 117]. Deneysel veriler ışığında, olay-ilişkili teta yanıtlarının bilişsel işleme ve kortikohippokampal etkileşimler ile ilgili olduğu bildirilmiştir [65]. Bu tezde teta yanıtları kapsamındaki bulgular ayrıca, Rainer ve ark. [118] bulguları ile uyumludur. Çalışmalarında, maymun beyninde, görme taskında 4-7 Hz LFP (lokal alan potansiyeli) oksipital bölgede gözlemlemişlerdir. Bu deney stratejisi ve sonuçları ışığında, bu osilasyonların, görme korteksinde veya görmeyle ilgili diğer beyin bölgeleriyle görme korteksi arasında çalışma belleği ile ilgili reverbere nöral aktiviteyi gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yine, gözlenen gecikmeli osilasyonların da duyuşsal inputtan yüksek seviyeli bölgeleri izole ederek çalışma belleği ile ilgili aktiviteyi bozulmaktan korumasına işaret edebileceği belirtilmiştir. Buradan **tetanın** lokal kortikal durum (state) **devamlılığını** yansıtmaları sonucuna da değinilmektedir.

Abeles ve Prut [119], maymun beyninde frontal korteks tek hücrelerinde uzay-zamansal organizasyonun varlığına işaret etmişlerdir. Değişik frekans bantlarındaki osilasyonların genlik ve fazları arasında, zaman boyutundaki entegrasyona ilişkin süperpozisyonu gösterir. Ayrıca, nöral topluluklar arasındaki seçici dağıtılmış ve seçici koherent osilasyon aktiviteleri uzaysal boyuttaki entegrasyonu ifade etmektedir. Bazı çalışmalara değinecek olursak, hippocampal nöronlardan, kortikal nöronlar kadar iyi teta kaydedilmiştir [56, 120]. Frontal lobun temel ritmi tetadır [65]. Hippokampusun frontal bölge ile ilişkisi, frontal bölgeden kaydedilen tetanın hippocampal tetadan kaynaklandığı yolundaki bulgularla da desteklenmektedir [56]. Hippokampal teta, entegratif beyin faaliyetinde, frontal bölgenin uyaranlara reaktivitesini modüle eden bir osilasyondur [3]. Best ve Rank tarafından [121], çoklu duyuşsal davranımı olan hippocampus teta hücreleri tanımlanmıştır. Teta EEG yanıtları, farelerde [56], kedi ve insanlarda [49, 112, 117] kaydedilmiştir. Bimodal duyuşsal uyaranlar, frontal bölgede beklenenden daha büyük bir yanıt ortaya çıkarırlar [2, 3, 57]. Bu da görevin zorluk derecesi ile alınan yanıtın artışının bir göstergesidir. Teta; tetikte olma, uyanıklık, hazır

olma gibi bileşenlerden oluşan yönelme (orienting) durumunda kedilerde gösterilmiştir [2, 3]. Başar-Eroğlu ve Demiralp [113] tarafından, teta birçok duyusal ve bilişsel mekanizma ile ilişkilendirilmiştir.

Teta frekans bandında yapılan daha önceki araştırmalar, tetanın bilişsel süreçlerdeki önemini ortaya çıkarmışlardır. **Hippokampal** teta, bilişsel işlevler sırasında, motor ve sözel öğrenme görevleri sırasında artmaktadır [122, 123]. Hippokampus özellikle yeni bilginin uzun süreli belleğe atılması yani bellek izlerinin derinleştirilmesinden (consolidation) sorumlu bir yapıdır [124]. Ayrıca yapılan çalışmalar alzheimer hastalığında erken devrede öğrenme ve dikkatin bozulmasına paralel olarak ilk etkilenen elektrofizyolojik işlevler arasında hippokampal ve frontal bölgelerdeki teta yer almaktadır [10, 125].

Tez kapsamında, öğrenme stratejilerini belirlemek için yapılan analizlerde, görsel seyrek uyaran paradigmasında hedef uyarana karşı olan teta yanıtları pek çok ölçüm bölgesinde aynı kalmış az bir kısmında azalmıştır (örneğin O_1). Hedef-olmayan görsel uyarana karşı olan teta yanıtları da deneysel süreç içinde farklılık göstermemektedir. İşitsel seyrek uyaran paradigmasında, hem hedef uyarana hem de hedef-olmayan-uyarana karşı olan teta yanıtları deneyin başlangıcından sonuna bir değişiklik göstermemektedir. Seyrek uyaran paradigmalarında basit uyaranlar kullanılmış olması ve deneylerin başlangıcında bireylere öğretim verilmesi nedeni ile kişilerin öğrenmelerinin çok erken evrede (ilk dakikalar içinde) olmuş olması tetada daha sonrasında büyük çaplı değişiklik görülmemesine neden olabilir.

Hedef uyarani bekleme stratejisi incelenirken, hedef uyarandan bir sonraki hedef-olmayan uyarana alınan yanıtlar hedef uyarandan bir önceki hedef-olmayan uyarana olan yanıtlardan daha büyük olarak gözlenmiştir. Bireylerin hedef uyarandan sonra yeni hedef uyarana beklentilerinin ve dolayısıyla dikkatlerinin arttığını ve birkaç uyarandan sonra artık hedef uyarani geleceği düşüncesi ile dikkatin azaldığını söylemek mümkün olabilir.

Ayrıca teze konu olan çalışmada, bilinmeyen yüz uyaraniına karşı, beyinde teta yanıtlarında değişiklikler ortaya çıkmıştır. Sağ frontal ve sol oksipital bölgede teta yanıtları deneyin ilerleyen evresinde yüksek bulunmuştur. “Yüz Tanıma” deneylerinde, kullanılan fotoğraflar kompleks sinyallerdir. Deneylerin başlangıcında seçilmiş olan büyükanne

fotoğrafi, birey için bilinen bir görüntüdür. Ayrıca bu kişinin anısal (epizodik) belleğinden bir parçadır. Herhangi bir yaşlı kadın fotoğrafı ise, kişi için bilinmeyen ve onun anlamsal (semantik) belleğinden bir parçadır. Yüz tanıma deneylerinde, tekrarlayan uyaranlar sonucunda, deneyin başlangıcında bilinmeyen yüz, deneyin sonlarında artık bilinen bir yüz olmakta ve tanıdık bir görüntü halini almaktadır. Kişi bu süre içinde, yaşlı kadın fotoğrafının ayrıntılarını öğrenir. Deney sırasında, kişinin anlamsal belleğindeki görüntü, anısal belleğine geçmektedir. Artan teta aktivitesini bellekler arasında geçiş ve öğrenme sürecine bağlamak mümkündür.

İnsandaki çalışmalarda, senkronize teta aktivitesi ile bellek (öğrenme) arasında güçlü ilişkiler sıkça gösterilmektedir [126-132].

Klimesch ve ark. ları bellek fonksiyonları ile, alfa ve teta osilasyonu, çalışma belleği, semantik ve epizodik bellek üzerine bir seri araştırma yayınlayan öncülerdendir ve benzer araştırmalar günümüzde de artarak devam etmektedir. Bir seri araştırma da bilişsel süreçlerle anılan farklı frekans aralıklarında alfa ve teta frekans bantlarında gelişmeler sağlanmıştır. Teta frekans bandında gözlenen değişiklikler, kompleks bir çalışma belleğinde (LTMS; Long Term Memory System), kodlama (encoding) ve geri çağırma (retrieval) süreçleri ile ilişkili görülmüştür [114, 133–135]. Epizodik bellek çalışma belleği ile yakından ilişkilidir. Başarılı ve başarısız epizodik kodlamaya (encoding) bağlı teta bandındaki değişikliklerin analizinde tipik çalışma belleği taskları kullanmışlardır. Kodlama sırasında, sonradan serbest çağrışım ile hatırlanan kelimeler esnasında, hatırlanamayan kelimelerden daha çok teta frekansında artış göstermişlerdir [114, 134]. Benzer şekilde kelime tanıma görevinde başarılı bir geri çağırma esnasında doğru tanınan kelimeler, dikkati başka yöne çeken kelimelerden veya yanlış alarm veren kelimelerden daha büyük teta yanıtı çıkartmaktadırlar [136]. Gevins ve ark. [130], Kahana ve ark. [131], Tesche ve Karhu [137] de benzer sonuçlar bildirmişlerdir. Jacobs ve ark. [138] da bellek ile ilgili çalışmalarında, geri çağırılma (retrieval) ile sol parietal teta artışlarını, karar verme ile santral teta etkinliğini ilişkilendirmişlerdir.

Örneğin, Gevins ve ark. tarafından [130] çalışma belleği işlevleri esnasındaki değişiklikler yeni bir teknik olan MRI tabanlı sonlu elemanlı netleştirme (MRI-based finite element deblurring) ile desteklenmiş olan EEGde incelenmiştir. Artan bellek yükü ile frontal

orta hatta teta ritmi büyüklüğünde artış görülmüştür. Dipol modelleri bu sinyali anterior singulat kortekse konumlamıştır. Tetanın frontal ve pariyetal asosiyasyon alanlarından kaydedilmesi ve genellikle, kortikohippokampal sistem ile ilişkili olması, teta yanıtlarının belirli bir duyuşal sisteme özgü olmadığı sonucuna yol açmıştır [2, 65].

Ödevde zorluk artışı ile ve pratikle tetanın yükselmesi, uzamış seansta dikkatin odaklanması için daha fazla seçici dikkat harcanmasına bağlanabilir. Bilinmeyen yüzün tekrarlayan gösterilmeleri, P300 paradigmalarındaki [139] hedeflere benzer şekilde bir yanıt oluşturabilir. Bir çok bağlantılı hücreyi içerse de, tek hücrelerde olabilen plastisiteyi nöron topluluklarına uyarlayabiliriz. Edelman [140] nöron grupları seçimi ile ilgili bir teori geliştirdi. Bu teoride nöron gruplarının, kortekste bulunan kolon modüllerindeki gibi, kalıtsal olan değişkenlik ve plastisite ile bağlantı göstermelerinde genetik bir durum söz konusudur. Bunlar seçimlerinde genetik bir repertuarda oluştururlar. Dış uyarılar ve Hebb mekanizmalarına maruz kaldıklarında, bazı hücreler, birarada ateşlenmeye başlayacaklar ve sonuçta bağlantıları güçlenecektir. Başar [2], Barry [141] ve Klimesch'e [114] göre bu tekrar girişli (re-entry) döngüler OİO ları ortaya çıkarmaktadır ve tekrarlayan uyarılar prestimulusta genlik ve fazları değiştirerek UP ve OİO oluşumunu kontrol ederler.

Zihin işlevleri de kompleks sistem ürünleri olarak vejetatif işlevlere benzer şekilde ve beyin değişik yapıları arasında dağılım gösterir. Nöralbilimlerin üstüne düşen, “merkez”leri belirlemek yerine mental işlevleri oluşturan kompleks sistem ilişkilerini tanımlamaktır. Luria buna “dinamik lokalizasyon” adını vermektedir.

Daha önce bahsi geçen Sauseng ve ark. [116] çalışması, bu dinamik lokalizasyona ilintili olabilecek ve uzun süreli bellek süreçlerine yönelik bir çalışmadır. Faza kilitlenme, çoğunlukla nöronların veya nöron topluluklarının senkronizasyonundandır, bir başka deyişle nöronlar arası ortak aktivitelerdendir. Bu, dolaylı yoldan Hebb bağlantısına işaret etmekte olabilir.

Teta ve alfa yanıtları fonksiyonel özellikleri açısından bireysel farklılıklar içermektedir. Klimesch ve grubu, bu frekans aralıklarını bireye özgü, oldukça dar frekans aralıklarında hesaplayarak, bireysel alfa (Individual Alpha Frequency; IAF) ve teta aralıkları ile

incelenmesinden söz etmektedir [132, 136, 142]. Ayrıca, son zamanlarda literatürde zeka [143], yetenek ve cinsiyet [144] gibi faktörlerin bilişsel performansı ve dolayısıyla osilasyonel yanıtları etkilemekte olduğuna dair yayınlara rastlanmaktadır. Bu snulan çalışmada da, yapılan analizlerde, bilinmeyen yüze karşı olan teta yanıtlarının artışı incelenirken istatistiksel olarak anlamlı fark gösterenlerde yaklaşık %70 deneyde artış gözlenirken, fark gösterilemeyen elektrotlarda % 50 deneyde artış gösterilmiştir. Deneklerin yaklaşık yarısının bu davranışı göstermesi, göstermeyenlerde azalmış dikkat veya yetersiz öğrenme kapasitesinden sonuçlanıyor olabilir.

5.3 Alfa Frekans Bandındaki Değişiklikler

Alfa frekans bandındaki yanıtlar görsel seyrek uyaran paradigmasında posterior bölgelerde büyük iken, işitsel seyrek uyaran paradigmasında frontal, sentral ve pariyetal bölgelerdedir. Ayrıca, yüz uyaranlarına karşı olan alfa yanıtları da posterior bölgelerde daha büyük olarak gözlenmiştir.

Alfa duyuusal uyaranlar sonucunda ortaya çıkan beynin temel frekanslarından bir tanesidir. Bu çalışma da, görsel uyarana karşı posteriorde ve işitsel uyaranda anteriorde, her uyarana karşı (standart, hedef ve hedef-olmayan) alfa yanıtları gözlenmiştir. Literatürde alfada artış ve azalma (senkronizasyon ve desenkronizasyon) sonuçlarını sunan yayınlar mevcuttur [130, 145]. Alfa yanıtlarının özellikle sinyal öncesi durumu belirleyici özellikler taşımaktadır [146].

Öğrenme stratejileri ile ilgili yapılan analizlerde, tüm bireylerin ortalama yanıtları (grand average) incelendiğinde görsel ve işitsel hedef uyaranlara karşı olan alfa yanıtları deneyin başlangıcından sonuna büyüme gösterdiği gözlenmiştir. Bunu bellek performansının artması ve hedef uyaran üzerine dikkatin odaklanmasına bağlayabiliriz. Hedef-olmayan uyaranların deneysel süreç içindeki durumları incelendiğinde deney sonunda alfa yanıtlarında düşme görülmektedir. Erken evrede uyaranların öğrenilmesi hedef uyaran üzerinde dikkat odaklanabilirken, hedef-olmayan uyaranın kolaylıkla göz ardı edilebilmesini sağlamaktadır.

Gevins ve ark. [130] aynı çalışmada bellek yükü artarken yavaş, düşük-frekanslı (8–10.5 Hz, ortalama 9Hz) pariyetosentral alfa sinyalinde azalma görülmüştür. Bu sinyaller uyarının özelliğine hassas bulunmamıştır. Daha hızlı, yüksek frekanslı (10–13.5 Hz, ortalama 11Hz) oksipitoparietal bir alfa sinyali, özellikle posterior sağ hemisferde, uzaysal ödevde göreceli olarak sönümlenmiştir. Pratikte beraber, hem performansta artış hem de teta ve alfa sinyallerinde artış gözlemlenmiştir. Alfadaki azalma, bu sinyalin ödev performansında kullanılan kortikal kaynakların miktarı ile ters orantılı olmasına işaret edebilir. Pratik yaptıktan sonra alfa sinyalindeki artış, becerideki artış ile daha az sayıda kaynağa gerek kaldığı şeklinde yorumlanabilir¹.

Ayrıca, literatürde alfa frekans bandındaki yanıtların duyuşal işleyişin göstergesi olarak, primer duyuşal alanlarda alınan yanıtlar olmasının yanı sıra seçici dikkatin de göstergesi olabileceği üzerinde durulmuştur [40, 147]. Karakaş'a göre, yapılan son araştırmalardaki sonuçlar, alfanın kısa süreli bellek ile de ilişkili olup, duyuşal kayıt (**sensory register**) sisteminden uyarıların seçilmesi ile ilgili olduğunu göstermektedir [40].

Klimesch ve ark. yapmış olduğu denemelerde, düşük alfa frekans bandı dikkat süreci ile ilişkili bulunmuştur. Grup, 1994'de [55] yayınladıkları semantik ve epizodik bellek görevleri ile yapılan bir çalışmada yüksek frekanslı alfa osilasyonunda desenkronizasyon göstermişlerdir. Semantik süreç esnasında, yüksek alfa frekansında belirgin düşme gözlenmesine karşılık epizodik geri çağırma esnasında teta frekansı gücünde belirgin artma gözlenmiştir. Yapılan çalışmadan çıkarımları, teta senkronizasyonunun (en yüksek yeni veya epizodik bilginin eldelenmesi sürecinde) ve yüksek alfa desenkronizasyonunun (en yüksek uzun süreli bellekten bilginin geri çağırılması ve semantik bilgi süreçlerinde) görülmelerinin önemidir.

Jensen ve ark. [145] **görsel** kısa süreli bellek görevinde **alfa** (9–12 Hz)'te **bellek yüküyle orantılı artış** olduğu belirtilmiştir. Bu 9–12 Hz aktivitesi, çalışma belleği göreviyle zamansal uyum içinde bulunmuş ve görev sonlarında bir kaç yüz milisaniye içinde sönümlenmiştir.

¹ Literatürde alfa ile ilgili bulgular neredeyse zıt şekilde, alfa sönümlenmesi ve alfa yanıt artışları şeklinde iki ana gruba ayrılmaktadır. **Alfa yanıtlarındaki bu temel yaklaşım farklılıklarının tartışılması bu tezin kapsamında değildir. Yine de alfadaki bireysel farklılıklar ve inceleme yöntemleri arasındaki teknik yaklaşım farklıları bu nedenler arasında sayılabilir**

İşitsel bellek ile ilgili Pesonen ve ark. [148] yaptığı bir çalışmada, teta ve alfa (7-12 Hz) bellek yükü ile orantılı artış ve betada azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışmada değişikliklerin **dinamik** olduğu ve gelişme (evolving) gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca, alfa ve beta yanıtlarının aktif reprezentasyon, karşılaştırma işlemi ve/veya uyarı tanımlamayla da ilgili olması önerilmektedir.

5.4 Plastisite ve Deney Esnasında Dinamik Değişiklikler

Deneylerde, verilen uyarının özelliği (basit, kompleks), deneye katılan bireyden istenen görevin özelliği vb. faktörler beyin yanıtlarının özelliğini belirlemektedir. Örneğin; deneylerde, deneylerin ileri evresinde, erken evresi ile kıyaslandığında, görsel ve işitsel standart uyarılara ve hedef uyarılara karşı bazı kortikal ölçüm alanlarında delta yanıtlarında azalma gözlenmiştir. Basit uyarılara teta yanıtlarında deney ileri evresinde herhangi bir değişme saptanmazken, bilinmeyen yüz uyarıya karşı olan yanıtlarda sağ frontal ve sol oksipital bölgede geç dönemde artış saptanmıştır. Yüz tanıma esnasında görüntünün semantik bellekten epizodik belleğe geçişi olmakta ve yüz öğrenilmektedir. Bu esnada beyinde oluşan değişiklikleri Hebb Plastisitesi açısından değerlendirmek mümkündür. Literatürde tekrarlayan uyarı ve yoğun eğitimle olan nöroplastisite konusunda fikir birliği mevcut iken, task performansındaki (ilk bir saat içinde) erken artışın nöral altbileşenleri halen tartışılma halindedir.

Prosedürel bellek hipotezine göre performanstaki hızlı artış, gözlemcinin strateji değişikliklerine bağlıdır [149]. Hawkey ve ark. nın, yakın dönemdeki bir yayınına göre [150], görevde yanıt talepleri öğrenilmesi kontrol edilirken performansta artış görülebilmektedir. Bu bulgudan, performans artışından sorumlu değişimin en azından bir kısmının duyu kortekste olduğu sonucu çıkmaktadır. Alain ve ark. [151], kortikal yanıt vermede erken artışın, işitme nöronlarının ince ayar (tuning) ile konuşma sinyallerini ayrıştırabilmeye yönelik değişiklikleri yansıttığını önermektedirler.

5.5 Deneysel Kurulumun Öğrenmeye Etkisi

Tezdeki sunulan bulguların göstermiş olduğu deneme anındaki dinamik değişiklikler, literatürdeki klasik bakış açısından incelendiğinde, deneklerin deneme süreci içerisinde deney düzeneğine alışkanlık göstermesi, taskı öğrenmesi ve uyararı öğrenmesi gibi deneye ait bazı parametreleri de içerir.

Algısal öğrenmenin oluşumunun gösterilmesi bir seri zorluk içerir. Belki de bunlardan en önemlisi prosedürel öğrenmeden ayrıştırılabilmesidir. Prosedürel öğrenme, bir tasktaki taleplere yanıtların öğrenilerek o tasktaki performansın artışını ifade etmekte kullanılır.

Araştırmacılar tarafından çoğunlukla benzer görevler altında; erken, hızlı öğrenme aşamaları prosedürel öğrenmenin göstergesi olarak ele alınmaktadır [152]. Gözlenen performans artışının prosedürel öğrenmeden oluşma olasılığını minimuma indirmek için birçok çalışmadan önce prosedür (işlem) hakkında deneklere eğitim uygulanır (pretraining, familiarization). Bu yaklaşımın altında algısal öğrenmenin yavaş ve her bir uyarının fiziksel özelliklerinin oluşması, kaydedilmesi ve karşılaştırılmasından ibaret olduğu düşüncesi yatar. Belki de erken dönemde görülen performans artışı deneydeki artan performans başarısından ziyade gerçek bir algısal değişiklikten oluşmaktadır.

5.6 Öğrenme Süreçlerinde Osilasyonlar ve Deneysel Model Yaklaşımı

Öğrenme süreçleri incelenirken, paradigmanın özelliği, nasıl uygulandığı, ön eğitim verilmesi, uyarının basit veya karmaşık olması gibi pek çok parametrenin öğrenmeyi ve buna bağlı frekans bandlarındaki yanıtları etkileyebileceği görülmüştür.

Öğrenme sırasında, delta, teta ve alfa frekans bandlarında denemenin başından sonuna uyarılara alınan yanıtlar değişiklikler göstermişlerdir. Sadece genlik frekans analizi yapılarak yürütülen bu çalışmanın, bireylerin öğrenme süreçlerinde gösterdikleri değişikliklerin ölçülmesinde ne kadar anlamlı olduğu görülmüştür. Bu tez sonucunda, uyarılara alınan yanıtların süresi, alındığı zaman dilimi, bireysel frekans aralığı belirlenerek çalışmaların sürdürülmesi gibi bazı açılımlar öngörülebilmektedir. Bu çalışmaya yapılacak

bazı yöntemsel eklemeler ile ileride öğrenme, bellek ölçümü için kullanılabilecek ölçüm seti elde edilmesi olanaklı görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Öğrenme süreçlerinin beyin dinamiği genel bakışı ile incelendiği bu tez çalışmasında bulgular, beynin çok boyutlu dinamik yapısını bir kere daha vurgulamaktadır .

Tezde elde edilen sonuçlar özetlenecek olursa;

1. Yapılmış olan tez, özgün bir çalışmadır. Basit ışık ve basit ses sinyalleri ile yapılmış seyrek uyaran paradigmlarında hedef uyaranlar nöral bilimler alanında ilk kez karşılaştırılmıştır. Basit uyaranlar ve kompleks uyaranlar ile yapılmış paradigmlarda, çoklu alt grupta öğrenme süreçlerine bu kadar kapsamlı bakan başka çalışmaya rastlanmamıştır.

2. Öğrenme, dinamik ve karmaşık bir süreçtir. Dikkat-algılama-öğrenme-hatırlama gibi bilişsel işlevler, bellek içinde bulunan bileşenlerdendir ve birbirini pek çok koşulda etkilerken tek bir faktör olarak ölçülmeleri çok kolay olmamaktadır. Bu çalışmada hazırlanan paradigmlar ile, dikkat-algılama-öğrenme-hatırlamanın birbirleri ile etkileşimleri ve görevler altında deneye alınan kişilerce geliştirilen olası stratejileri irdelenmiştir.

3. Bu yaklaşımla, farklı uyaranların, beynin farklı bölgelerinde, birçok frekans bandında yarattığı dinamik etkiler gözlenmiştir. Örneğin, delta yanıtları, basit ışık ve ses hedef uyaranlarına karşı frontal bölgede, yüz uyaranlarına karşı oksipital bölgede etkin gözlenmiştir.

4. Bilişsel işlevlerde, OİP (Olaya-ilişkin Potansiyeller) deneyleri ve osilasyonların incelenmesi, beynin fonksiyonlarının bilişsel işlevler sırasında değişimlerini göstermesi açısından önem gösteren deneylerdir.

5. Aynı paradigma içinde kullanılan farklı uyaranlara beyin farklı yanıt vermektedir.

6. Farklı frekanslarda zamansal ve topolojik olarak farklılaşmış yanıtlar izlenmektedir.

7. Öğrenmeye ilişkin strateji çalışmaları, öğrenme sırasındaki dinamik değişiklikleri göstermesi açısından önemlidir.

8. Paradigmalarda uyarının türüne ve kullanılan paradigmanın içeriğine göre, değişik korteks bölgelerinde ve bilişsel süreçlerle uyumlu olarak bazı frekans bantlarında değişimler gösterilmiştir. Aynı anda, bir bilişsel süreç birden çok frekansın etkinliğini gerektirmiştir.

9. Bütün bu sonuçlar, beynin öğrenme süreçlerindeki stratejilerini aydınlatmak için EEG ve OIP nin ve özellikle olaya ilişkin osilasyonların önemini bir kere daha ortaya çıkarmaktadır.

Bu tezde ortaya çıkan sonuçlar ve literatürle karşılaştırılmasıyla oluşan kavramsal bulgular ışığında, uyarıların basitlik veya karmaşıklık derecesi, kişiye verilen eğitim ve ödev önemli değişkenlerdir ve öğrenme sürecini etkiler. Bellek ve öğrenme süreçleri irdelendiğinde basit uyarıların bile etkisi uzay-zamansal dinamik incelemeleri gerektirmektedir. Bu bağlamda, semantik ve epizodik bellek süreçlerinin incelenmesi tekrarlayan ölçüm düzeneklerinin kurulmasını gerektirmektedir. Bellek ve bilişsel performans bozukluğu ile giden birçok hastalık süreci göze alındığında objektif ölçüm kriterlerine gereksinim vardır. Bu çalışmadaki yaklaşımda, insanda, klinik ve temel alanların çakıştığı bir deneysel yöntem ve araç oluşturulması non-invaziv özellikleri nedeniyle de önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, öğrenme ve plastisitedeki yeni bulgular daha önceleri tahmin edildiğinden de hızlı ve dinamik bir sürecin beyinde işlediğine işaret etmektedir. Bu bağlamda beynin osilasyonel yanıtlarının incelenmesindeki zaman çözünürlüğünün diğer yöntemlere üstünlüğü önemli bir avantaj oluşturmaktadır.

Çalışmalar öğrenme işlevinin zorluğuna göre kademeli artan, yapılandırılmış paradigmalarda sürdürülmeli ve deney sayısı arttırılmalıdır. Bireylerin öğrenme yetilerini ölçen psikometrik testler ile çalışma kapsamı genişletilebilir. Bu çalışmalar sonucunda, yapılandırılmış “Ölçüm Paketleri” oluşturulabilir. Sağlıklı bireyler üzerinde yapılan bu çalışmalardan çıkarılan sonuçlar; nöroloji, psikiyatri hastalıklarında ve çocuklarda öğrenme ve dikkat bozukluklarında tanı koymada ölçüm aracı olarak kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Başar E. EEG-Brain Dynamics: Relation between EEG and Brain Evoked Potentials. First Edition. Amsterdam, Elsevier, 1980
2. Başar E. Brain Function and Oscillations. I. Brain Oscillations: Principles and Approaches. Berlin Heidelberg, Springer, 1998
3. Başar E. Brain Function and Oscillations. II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes. Berlin Heidelberg, Springer, 1999
4. Başar E. Memory and Brain Dynamic. Oscillations Integrating Attention, Perception, Learning and Memory. CRC Press, Boca Rato, 2004
5. Başar E. Biophysical and physiological systems analysis. Addison-Wesley, Reading, MA, 1976
6. Karakaş S, Erzengin OU, Başar E. The genesis of human event-related responses explained through the theory of oscillatory neural assemblies. *Neurosci Lett* 2000;285: 45-8
7. Karakaş S, Erzengin OU, Başar E. A new strategy involving multiple cognitive paradigms demonstrates that ERP components are determined by the superposition of oscillatory responses. *Clin Neurophysiol* 2000;111: 1719-32
8. Karakaş S. İnsanda bilgi işleme süreçleri ve bunların elektrofizyolojik göstergeleri. 39. Ulusal Nöroloji Kongresi Özet Kitabı, 2003, sayfa 129-38
9. Green J, Levey AI. Event-related potential changes in groups at increased risk for Alzheimer disease. *Arch Neurol* 1999;56(11):1398-403
10. Yener G, Güntekin B, Öniz A, Başar E. Increased Frontal Phase-locking of Event Related Theta Oscillations in Alzheimer Patients Treated with Acetylcholine-Esterase Inhibitors. *Int J Psychophysiol* (doi:10.1016/j.ijpsycho.2006.07.006.)

11. Kamarajan C, Porjesz B, Jones K, Chorlian D, Padmanabhapillai A, Rangaswamy M, Stimus A and Begleiter H. Event-Related Oscillations in Offspring of Alcoholics: Neurocognitive Disinhibition as a Risk for Alcoholism. *Biol Psychiatry* 2006;59:625–34
12. Karakaş S. Beden-zihin sorunundan beyin-biliş ilişkisine: Felsefeden pozitif bilimlere. Karakaş S, İrkeç C, Yüksel N (Eds). *Beyin ve nöropsikoloji: Temel ve klinik bilimler, içinde. Birinci baskı, Ankara, Çizgi Yayınevi, 2003:3-31*
13. Hebb DO. *The Organization of Behaviour*. New York, Wiley, 1949
14. Seung HS. Half a century of Hebb. *Nat Neurosci* 2000;3:1166–7
15. Sakurai Y. How do cell assemblies encode information in the brain? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 1999;23:785–96
16. Hayek FA (Ed). *The Sensory Order*. Chicago, University of Chicago Press, 1952
17. Fuster JM. Prefrontal cortex and memory in primates. In: Byrne JH (Ed). *Learning & Memory*. Second Edition, New York, Macmillan, 2003;535–8
18. Kandel ER, Schwartz JH. Molecular biology of learning: modulation of transmitter release. *Science* 1982;218:433–43
19. Hawkins RD, Abrams TW, Carew TJ, Kandel ER. A cellular mechanism classical conditioning in *Aplysia*: activity-dependent amplification of presynaptic facilitation. *Science* 1983;219:400–5
20. Pinsker H, Kupfermann I, Castellucci VF, Kandel ER. Habituation and dishabituation of the gill-withdrawal reflex in *Aplysia*. *Science* 1970;167:1740–2
21. Castellucci VF, Kandel ER. A quantal analysis of the synaptic depression underlying habituation of the gill-withdrawal reflex in *Aplysia*. *Proc Natl Acad Sci USA* 1974;71:5004–8
22. Bailey CH, Chen M. Morphological basis of long-term habituation and sensitization in *Aplysia*. *Science* 1983;220: 91–3

23. Fuster JM. Memory in the Cerebral Cortex. A Bradford Book. Cambridge, The MIT Press, 1995;1–358
24. Helmholtz H von. Handbook of Physiological Optics. Newyork, Dover, 1962. Translation of Handbuch der Physiologischen Optik, 3 vols. Ed. and trans. JPC Southall, Hamburg: voss, 1866
25. Mountcastle VB. The cerebral cortex. Perceptual Neuroscience. Harvard University Press, 1998
26. MacKay DM. Perception and brain function. In: Schmitt org, The Neurosciences, The Rockefeller University Press, Nova York, 1970; 303–316
27. Herrmann CS, Munk MHJ, Engel AK. Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. Trends Cogn Sci 2004;8(8): 347– 355
28. Baddeley A. The fractionation of working memory. Proceedings of the New York Academy of Science USA 1996;93: 13468–72
29. Desimone R. Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. Proc Natl Acad Sci USA, 1996;93(24): 13494–9
30. Fuster JM. Upper processing stages of the perception action cycle. Trends in Cognitive Sciences 2004;8: 143–5
31. Mountcastle VB. Preface. In: Başar E and Bullock TH (Eds). Induced Rhythms in the Brain. Boston, MA, Birkhäuser, 1992;217–31
32. Freeman WJ (Ed). Mass Action in the Nervous System. New York, Academic Press, 1975
33. Başar E, Gönder A, Özesmi C, Ungan P. Dynamics of brain rhythmic and evoked potentials. I. Some computational methods for the analysis of electrical signals from the brain. Biol Cybern 1975a;5;20(3–4): 137–43

34. Başar E, Gönder A, Özesmi C, Ugan P. Dynamics of brain rhythmic and evoked potentials. II. Studies in the auditory pathway, reticular formation, and hippocampus during the waking stage. *Biol Cybern* 1975b;5;20(3-4): 145-60
35. Başar E, Gönder A, Özesmi C, Ugan P. Dynamics of brain rhythmic and evoked potentials. III. Studies in the auditory pathway, reticular formation, and hippocampus during sleep. *Biol Cybern* 1975c;5;20(3-4): 161-9
36. Caton R. The electric currents of the brain. *Brit Med J* II: 278; 1875
37. Berger H. Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. I. Bericht, *Archiv Fuer Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 1929;87: 527-70
38. Rechtschaffen A, Kales A. A manual of standardized terminology, techniques and scoring systems for sleep stages of human subject. Washington DC: National Institutes of Health, no. 204, 1968
39. Sutton S, Braren M, Zubin J, John ER. Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 1965;150: 1187-8
40. Karakaş S. A descriptive framework for information processing: an integrative approach. *Int J Psychophysiol* 1997; 26(1-3): 353-68
41. Özesmi Ç, Süer C, Gölge A, Aşçıoğlu M, Dolu N, Yılmaz A. Sinir sisteminin elektrofizyolojisi ve kayıt yöntemleri. In: Karakaş S, Aydın H, Erdemir C, Özesmi Ç (Eds). *Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon*, Çizgi Tıp, Ankara, 2000;1-11
42. Süer C, Gölge A, Yılmaz A. Görsel ve İşitsel Uyarım Teknikleri. TÜBİTAK, Beyin Dinamiği Multidisipliner Lisans Üstü Yaz Okulu Ders Notları, 19-30 Temmuz 1999, Diyarbakır
43. Kramer AE, Donchin E. Brain Potentials as Indices of Orthographic and Phonological Interaction During Word Matching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1987;13(I): 76-86

44. Başar E, Başar-Eroğlu C, Demiralp T, Schürmann M. The compound P300–40 Hz response of the human brain. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1993;87:14P
45. Başar-Eroğlu C, Başar E, Demiralp T, Schürmann M. P300-response: possible psychophysiological correlates in delta and theta frequency channels, A review. *Int J Psychophysiol* 1992;13: 161–79
46. Polich J. Attention, probability, and task demands as determinants of P300 latency from auditory stimuli. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986;63: 251–9
47. Irak M, Karakaş S. Yüksek ve Düşük Dikkat Performansı Gösteren Bireylerin Olay-İlişkili Potansiyel ve Gamma Tepkileri. *Klinik Psikiyatri* 2002;5: 169–76
48. Donchin E, Karis D, Bashore TR, Coles MHG, Gratton G. *Psychophysiology: Systems Processes and Applications. Cognitive Psychophysiology and Human Information Processing.* New York, Guilford Pr. 1986
49. Başar-Eroğlu C, Strüber D, Kruse P, Başar E, Stadler M. Frontal gamma band enhancement during multistable visual perception. *Int J Psychophysiol* 1996;24: 113–25
50. Yordanova J, Kolev V. Single-sweep analysis of the theta frequency band during an auditory oddball task. *Psychophysiology* 1998;35(1): 116–26
51. Varela F, Lachaux JP, Rodriguez E, Martinerie J. The Brainweb: Phase Synchronization and large-scale İntegration. *Nat Rev Neurosci* 2001;2: 229–32
52. Başar, E., Başar-Eroğlu, C., Karakaş, S. and Schürmann, M. Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. *Int J Psychophysiol* 2001;39(2–3): 241–8
53. Schürmann M, Başar-Eroğlu C, Kolev V, Başar E. A new metric for analyzing single-trial event-related potentials (ERPs) application to human visual P300 delta response. *Neurosci Lett* 1995;197: 167–70

54. Röschke J, Mann K, Riemann D, Frank C, Fell J. Sequential analysis of the brain's transfer properties during consecutive REM episodes. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;96: 390–7
55. Klimesch W, Schimke H, Schwaiger J. Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1994;91: 428–41
56. Miller R. Cortico-hippocampal interplay and the representation of contexts in the brain. Berlin, Springer, 1991
57. Sakowitz OW, Schürmann M, Başar E. Oscillatory frontal theta responses are increased upon bisensory stimulation. *Clin Neurophysiol* 2000;111: 884–93
58. Başar E, Stampfer HG. Important associations among EEG-dynamics, event-related potentials, short-term memory and learning. *Int J Neurosci* 1985;26(3–4): 161–80
59. Stampfer HG, Başar E. Does frequency analysis lead to better understanding of human event related potentials. *Int J Neurosci* 1985;26: 181–96
60. Doppelmayr M, Klimesch W, Schwaiger J, Stadler W, Röhm D. The time locked theta response reflects interindividual differences in human memory performance. *Neurosci Lett* 2000;278: 141–4
61. Van der Tweel LH, Lunel HF. Human Visual Responses to Sinusoidally Modulated Light. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1965;18: 587–98
62. Spekreijse H. Analysis of E.E.G. responses in man evoked by sine wave modulated light. PhD thesis. University of Amsterdam, 1966
63. Regan D. Some characteristics of average steady-state and transient responses evoked by modulated light. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1966;20: 238–48
64. Başar E, Gönder A, Ungan P. Important relation between EEG and evoked potentials. I. Resonance phenomena in subdural structures of the cat brain. *Biol Cybern* 1976;25: 27–40

65. Başar E, Başar-Eroğlu C, Karakaş S, Schürmann M. Are cognitive processes manifested in event-related gamma, alpha, theta and delta oscillations in the EEG? *Neurosci Lett* 1999;15;259(3): 165–8
66. Başar E, Durusan R, Gönder A, Urgan P. Synchrony and coupling between simultaneously recorded brain potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1977;43: 500–1
67. Pfurtscheller G, Neuper C, Andrew C, Edlinger G. Hand and foot area mu rhythms. *Int J Psychophysiol* 1997;26: 121–35
68. Başar E, Demir N, Gönder A, Urgan P. Combined dynamics of EEG and evoked potentials. I. Studies of simultaneously recorded EEG-EPograms in the auditory pathway, reticular formation and hippocampus of the cat brain during the waking stage. *Biol Cybern* 1979a;34: 1–19
69. Başar E, Durusan R, Gönder A, Urgan P. Combined dynamics of EEG and evoked potentials. II. Studies of simultaneously recorded EEG-Programs in the auditory pathway, reticular formation and hippocampus of the cat brain during sleep. *Biol Cybern* 1979b;34: 21–30
70. Başar E, Gönder A, Urgan P. Important relation between EEG and brain evoked potentials. I. Resonance phenomena in subdural structures of the cat brain. *Biol Cybern* 1976a;25(1): 27–40
71. Başar E, Gönder A, Urgan P. Important relation between EEG and brain evoked potentials. II. A system analysis of electrical signals from the human brain. *Biol Cybern* 1976b;25: 41–8
72. Karakaş S, Başar-Eroğlu C. Interrelations between discoveris of the different research approachesof cognitive psychophysiology, 9th World Congress of psychophysiology, Taurmina, Italy, 1998
73. Schürmann M, Başar-Eroğlu C, Başar E. Evoked EEG alpha oscillations in the cat brain – a correlate of primary sensory processing. *Neurosci Lett* 1998;240: 41–4

74. Başar E, Hari R, Lopes da Silva FH, Schürmann M (Eds). Brain Alpha Activity-New Aspects and Functional Correlates. *Int J Psychophysiol* 1997;26: 1–482
75. Bullock TH, Başar E. Comparison of ongoing compound field potentials in the brain of invertebrates and vertebrates. *Brain Res Rev* 1988;13: 57–75
76. Schütt A, Başar E. The effects of acetylcholine, dopamine and noradrenaline on the visceral ganglion of *Helix Pomatia* II: Stimulus evoked field potentials. *Comp Biochem Physiol* 1992;102C: 169–76
77. Marrufo VM, Vaquero E, Cardoso JM, Gomez CM. Temporal evolution of alpha and beta bands during visual spatial attention. *Cogn Brain Res* 2001;12: 315–20
78. Haenschel C, Baldeweg T, Croft RJ, Whittington M, Gruzelier J. Gamma and beta frequency oscillations in response to novel auditory stimuli: A comparison of human electroencephalogram (EEG) data with in vitro models. *Proc Natl Acad Sci USA* 2000;97: 7645–50
79. Whittington MA, Traub RD, Kopell N, Ermentrout B, Buhl EH. Inhibition-based rhythms: experimental and mathematical observations on network dynamics. *Int J Psychophysiol* 2000;38(3):315–36
80. Ray WJ, Cole HW. EEG activity during cognitive processing: influence of attentional factors. *Int J Psychophysiol* 1985;3(1): 43–8
81. Burgess AP, Ali L. Functional connectivity of gamma EEG activity is modulated at low frequency during conscious recollection. *Int J Psychophysiol* 2002;46(2): 91–100
82. Müller GR, Neuper C, Rupp R, Keinrath C, Gerner HJ, Pfurtscheller G. Event-related beta EEG changes during wrist movements induced by functional electrical stimulation of forearm muscles in man. *Neurosci Lett* 2003;340(2): 143–7
83. Kristeva-Feige R, Fritsch Ch, Timmer J, Lücking CH. Effects of attention and precision of exerted force on beta range EEG-EMG synchronization during a maintained motor contraction task. *Clin Neurophysiol* 2002;113: 124–31

84. Brovelli A, Ding M, Ledberg A, Chen Y, Nakamura R, Bressler SL. Beta oscillations in a large-scale sensorimotor cortical network: directional influences revealed by Granger causality. *Proc Natl Acad Sci USA* 2004;101: 9849–54
85. Egner T, Gruzelier JH. EEG Biofeedback of low beta band components: Frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clin Neurophysiol* 2004;115:131
86. Özgören M, Başar-Eroğlu C, Başar E. Beta oscillations in face recognition. *Int J Psychophysiol* 2005;55: 51–9
87. Porjesz B, Almasy L, Edenberg H, et al. Linkage disequilibrium between the beta frequency of the human EEG and a GABA_A receptor gene locus. *Proc Natl Acad Sci USA* 2002;99: 3729–33
88. Rangaswamy M, Porjesz B, Chorlian DB, et al. Beta power in the EEG of alcoholics. *Biol Psychiatry* 2002;51: 831–42
89. Eckhorn R, Bauer R, Jordan R, Brosch W, Kruse M, Munk M, Reitboeck HJ. Coherent oscillations: a mechanism of feature linking in the visual cortex? *Biol Cybern* 1988;60: 121–30
90. Gray CM, Singer W. Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex. *Proceedings of the New York Academy of Science USA* 1989;86: 1698–702
91. Tomberg C, Desmedt JE. Human perceptual processing: Inhibition of transient prefrontal–parietal 40 Hz binding at P300 onset documented in non–averaged cognitive brain potentials. *Neurosci Lett* 1998;255:163–6
92. Schürmann M, Başar-Eroğlu C, Başar E. Gamma responses in the EEG: elementary signals with multiple functional correlates. *NeuroReport* 1997;8: 1793–6
93. Adrian ED. Olfactory reactions in the brain of the hedgehog. *J Physiol* 1942; 459–73

94. Karakaş S, Başar E. Early gamma response is sensory in origin: a conclusion based on cross-comparison of results from multiple experimental paradigms. *Int J Psychophysiol* 1998;31: 13–31
95. Başar E, Rosen B, Başar-Eroğlu C, Greitschus F. The associations between 40-Hz EEG and the middle latency response of the auditory evoked potential. *Int J Neurosci* 1987;33: 103–17
96. Pantev C, Makeig S, Hoke M, Galambos R, Hampson S, Gallen C. Human auditory evoked gamma band magnetic fields. *Proc Nat Acad Sci USA* 1991; 88: 8996–9000
97. Başar-Eroğlu C, Başar E. A compound P300–40 Hz response of the cat hippocampus. *Int J Neurosci* 1991;60: 227–37
98. Başar E, Başar-Eroğlu C, Demiralp T, Schürmann M. The compound P300–40 Hz response of the human brain. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1993;87:14P
99. Fell J, Hinrichs H, Röschke J. Time course of 40 Hz EEG activity accompanying P3 responses in an auditory oddball paradigm. *Neurosci Lett* 1997;235: 121–4
100. Tiitinen H, Sinkkonen J, Reinikainen K, Alho K, Lävikäinen J, Näätänen R (Eds). Selective attention enhances the auditory 40-Hz transient response in humans. *Nature* 1993;364: 59–60
101. Llinas RR, Ribary U. Rostrocaudal scan in the human brain: a global characteristic of the 40 Hz response during sensory input. In: Başar E, Bullock TH (Eds). *Induced Rhythms in the Brain*. Boston, Birkhäuser, 1992
102. Jasper HH. The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1958;10: 371–5
103. Fourier J. 1822. *Théorie analytique de la chaleur* (published in *Oeuvres de Fourier*, Vol. 1, Gauthier-Villars et fils, Paris 1888
104. Başar-Eroğlu C, Demiralp T, Schürmann M, Başar E. Topological distribution of oddball ‘P300’ responses. *Int J Psychophysiol* 2001;39: 213–20

105. Yordanova J, Kolev V. Developmental changes in the relationship between EEG theta response and P300. *Electroenceph clin Neuropysiol* 1997;104: 418–30
106. Başar E, Özgören M, Öñiz A, Schmiedt C, Başar-Eroğlu C. The brain oscillations differentiate the Picture of the own grandmother. *Int J Psychophysiol*, (doi:10.1016/j.ijpsycho.2006.07.002.)
107. Donchin E. Event-related brain potentials: A tool in the study of human information processing. In: Begleiter H(Ed). *Evoked Potentials in Behavior*. New York, Plenum, 1977
108. Pritchard WS. Psychophysiology of P300. *Psychol Bull* 1981;89(3): 506–40
109. Irak M, Karakaş S. Dikkatin beynin nöroelektrik tepkilerine etkisi. *3P Dergisi* 2000;8(3): 182–94
110. Polich, J., Criado JR. Neuropsychology and neuropharmacology of P3a and P3b. *Int J Psychophysiol* 2006;60: 172–185
111. Kahana MJ. The cognitive corralates of human brain oscillations. *J neurosci.* 2006;26(6): 1669–72
112. Demiralp T, Başar E. Theta rhythmicities following expected visual and auditory targets. *Int J Psychophysiol* 1992;13: 147–60
113. Başar-Eroğlu C, Demiralp T. Event-related theta oscillations: an integrative and comparative approach in the human and animal brain. *Int J Psychophysiol* 2001;39(2–3): 167–95
114. Klimesch W. Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. *Int J Psychophysiol* 1996;24(1–2): 61–100
115. Karakaş S. Bilgi İşlemede Entegratif Model. In: Karakaş S, Aydın H, Erdemir C, Özesmi Ç (Eds) *Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon, Çizgi Tıp*, Ankara, 2000;13: 140–149

116. Sauseng P, Klimesch W, Gruber W, Doppelmayr M, Stadler W, Schabus M. The interplay between theta and alpha oscillations in the human electroencephalogram reflects the transfer of information between memory systems. *Neurosci Lett* 2002;324: 121–4
117. Demiralp T, Başar-Eroğlu C, Rahn E, Başar E. Event-related theta rhythms in cat hippocampus and prefrontal cortex during an omitted stimulus paradigm. *Int J Psychophysiol* 1994;18: 35–48
118. Rainer G, Lee H, Simpson GV, Logothetis NK. Working-memory related theta (4-7 Hz) frequency oscillations observed in monkey extrastriate visual cortex. *Neurocomputing* 2004;58–60: 965–9
119. Abeles M, Prut Y. Spatio-temporal firing pattern in the frontal cortex of behaving monkeys. *J Physiol Paris* 1996;90: 249–50
120. Başar-Eroğlu C, Başar E, Schmielau F. P300 in freely moving cats with intracranial electrodes, *Int J Neuroscience* 1991;60: 215–6
121. Best PJ, Ranck JB Jr. Reliability of the relationship between hippocampal unit activity and sensory-behavioral events in the rat. *Exp Neurol* 1982;75: 652–64
122. Lang M, Lang W, Diekmann V, Kornhuber HH. The frontal theta rhythm indicating motor and cognitive learning. In: Jr Johnson R, Rohrbaugh JW, Parasuraman R (Eds). *Current Trends in Event-Related Potential Research* 1987; (EEG Suppl. 40): 322–7
123. Mizuki Y, Masotoshi T, Isozaki H, Nishijima H, Inanaga K. Periodic appearance of theta rhythm in the frontal midline area during performance of a mental task. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1980;49: 345–51
124. Penfield W. *The Excitable Cortex in Conscious Man*. Liverpool University Press, 1958

125. Karakaş S, Bekçi B, Erzengin ÖÜ. Early gamma response in human neuroelectric activity is correlated with neuropsychological test scores. *Neurosci Lett* 2003;340: 37–40
126. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Rev* 1999;29: 169–95
127. Burgess AP, Gruzelier JH. Short duration power changes in the EEG during recognition memory for words and faces. *Psychophysiology* 2000;37: 596–606
128. Caplan JB, Madsen JR, Raghavachari S, Kahana MJ. Distinct patterns of brain oscillations underlie two basic parameters of human maze learning. *J Neurophysiol* 2001;86: 368–80
129. Sarnthein J, Petsche H, Rappersberger P, Shaw GL, von Stein A. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998;95: 7092–6
130. Gevins A, Smith ME, McEvoy L, Yu D. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing and practice. *Cereb Cortex* 1997;7: 374–85
131. Kahana MJ, Sekuler R, Caplan JB, Kirschen M, Madsen JR., Human theta oscillations exhibit task dependence during virtual maze navigation. *Nature* 1999;399: 781–4
132. Schack B, Klimesch W, Sauseng P. Phase synchronization between theta and upper alpha oscillations in a working memory task. *Int J Psychophysiol* 2005;57: 105–14
133. Klimesch W, Doppelmayr M, Russegger H, Pachinger T, Schwaiger J. Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neurosci Lett* 1998; 244(2): 73–76
134. Klimesch W, Doppelmayr M, Schimke H, Ripper B. Theta synchronization and alpha desynchronization in a memory task. *Psychophysiology* 1997;34: 169–76

135. Klimesch W, Doppelmayr M, Yonelinas A, Kroll NE, Lazzara M, Rohm D, Gruber W. Theta synchronization during episodic retrieval: neural correlates of conscious awareness. *Brain Res Cogn Brain Res* 2001;12: 33–8
136. Klimesch W, Doppelmayr M, Russegger H, Pachinger Th. Theta band power in human scalp EEG and encoding of new information. *NeuroReport* 1996;7: 1235–40
137. Tesche CD, Karhu J. Theta oscillation index human hippocampal activation during a working memory task. *Proc Natl Acad Sci USA* 2000;97: 919–24
138. Jacobs J, Hwang G, Curran T, Kahana M J. EEG oscillations and recognition memory: Theta correlates of memory retrieval and decision making. *NeuroImage* 2006;32: 978–987
139. Polich J. Clinical application of the P300 event-related potential. In: Lew H (Ed). *Principles and applications of evoked potentials*. Philadelphia, PA: Elsevier, 2003
140. Edelman GM. *Neural Darwinism*. New York, Basic Books, 1987
141. Barry RJ, De Pascalis V, Hodder D, Clarke AR, Johnstone SJ. Preferred EEG brain states at stimulus onset in a fixed interstimulus interval auditory oddball task and their effects on ERP components. *Int J Psychophysiol* 2003; 47: 187–198
142. Doppelmayr M, Klimesch W, Pachinger Th, Ripper B. Individual differences in brain dynamics: important implications for the calculation of event-related band powermeasures. *Biol Cybern* 1998;79: 49–57
143. Doppelmayr M, Klimesch W, Sauseng P, Hödlmoser K, Stadler W, Hanslmayr S. Intelligence related differences in EEG-bandpower. *Neurosci Lett* 2005;381(3): 309–13
144. Neubauer AC, Grabner RH, Fink A, Neuper C. Intelligence and neural efficiency: Further evidence of the influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Cog Brain Res* 2005;25: 217–25

145. Jensen O, Gelfand J, Kounios J, Lisman JE. Oscillations in the alpha band (9-12 hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cereb Cortex* 2002;12: 877–82
146. Barry R, Clarke A, McCarthy R, Selikowitz M. Adjusting EEG coherence for inter-electrode distance effects: An exploration in normal children. *Int J Psychophysiol* 2005;55: 313–21
147. Näätänen R, Paavilainen P, Alho K, Reinikainen K, Sams M. The mismatch negativity to intensity changes in an auditory stimulus sequence. In: Johnson Jr. R, Rohrbaugh JW, Prarsuraman R (Eds). *Current trends in event-related potential research*, Amsterdam: Elsevier, 1987;40: 125–31
148. Pesonen M, Bjornberg CH, Hamalainen H, Krause CM. Brain oscillatory 1-30 Hz EEG ERD/ERS responses during the different stages of an auditory memory search task. *Neurosci Lett* 2006;399: 45–50
149. Karni A, Bentini G. Learning perceptual skills:behavioral probes into adult cortical plasticity. *Curr Opin Neurobiol* 1997;7: 530–5
150. Hawkey DJC, Amitay S, Moore DR. Early and rapid perceptual learning. *Nature Neuroscience* 2004;7:1055-6
151. Alain C, Snyder JS, He Y, Reinke KS. Changes in auditory cortex parallel rapid perceptual learning. *Cereb cortex* 2006; doi:10.1093/cercor/bhl018, 2–11
152. Wright JJ, Robinson PA, Rennie CJ, Gordon E, Bourke PD, Chapman CL, Hawthorn N, Lees GJ, Alexander D. Toward an integrated continuum model of cerebral dynamics: the cerebral rhythms, synchronous oscillation and cortical stability. *Biosystems* 2001;63: 71–81

EKLER

Etik Kurul Onayı



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
KLİNİK VE LABORATUVAR ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU
Tarih ve Sayı: 04.05.2006/ 115

Etik Kurul Üyeleri

Prof.Dr.Taner ÇAMSARI
Prof.Dr.Cem Şeref BEDİZ
Prof.Dr.Uğur MÜNGAN
Prof.Dr.Hüseyin İŞLEKEL
Prof.Dr.Özgül SAĞOL
Prof.Dr.Görsev YENER
Doç. Dr. Arzu SAYINER
Doç. Dr. Mustafa SEÇİL
Yard. Doç. Dr. Cenk ERDAL
Yunus KARSLI

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA,

Etik Kurulumuzun 04 Mayıs 2006 tarih ve 06/08/06 no.lu toplantısında 203 Protokol numaralı Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü Fizik Biyo Anabilim Dalı Biyofizik doktora Programı Öğrencisi Adile ÖNİZ'in sorumlu olduğu "**Öğrenmede kognitif süreçler ve P300 osilasyon topografisi**" isimli projenin uygulanmasında etik açıdan sakınca yoktur.

Oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini arz ederim.

Prof.Dr.Taner ÇAMSARI
Klinik ve Laboratuvar Araştırmaları
Etik Kurulu Başkanı

Etik Kurul Sekreteri
Hatice İÇCİ

Tel: 0232 412 22 54

Tezden Yapılmış Bildiri Listesi

Başar, E., **Öniz, A.**, Özgören, M., Schmiedt, C., Başar-Eroğlu, C. The Theta Oscillatory Responses in model of “Dynamic Memory”, OP 2004, 12th World Congress of Psychophysiology, The Olympics of the Brain, 2004; 56-7.

Öniz, A., Başar-Eroğlu, C., Özgören, M., Schmiedt, C., Başar, E. The Role of Fast Theta Oscillations During Learning, SPR, Abstracts of the 45th Annual Meeting, Lisbon, 2005; 97.

Öniz, A., Başar, E. Oscillatory responses in visual and auditory oddball paradigms, IOP 2006, 13th World Congress of Psychophysiology, Istanbul, 2006; 353.

Öniz, A., Bayazıt, O. Başar, E. Occipital Delta Responses In Face Detection, IOP 2006, 13th World Congress of Psychophysiology, Istanbul, 2006; 353.