

Kısa Süreli Belleğin Retansiyon Fazı Elektriksel Salınımlarının Analizi

İtir Kaşıkçı¹, Ali Bayram^{2,3}, Basri Erdoğan^{3,4}, Tamer Demiralp⁵

¹İstanbul Üniversitesi Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü Sinirbilim A.D.

²Nöropsikiyatri İstanbul Hastanesi

³Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsü

⁴İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü

⁵İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Fizyoloji A.D.

ÖZET

Kısa Süreli Bellek (KSB)/Çalışma Belleği (ÇB) ile ilgili EEG bazlı çalışmaların birçoğunda, KSB/ÇB sürecinin retansiyon fazında posterior bölgelerde alfa salınım genliğinin bellek yükü ile korele olarak yükseldiği bulunmuştur. KSB/ÇB süreçlerinin retansiyon fazına ilişkin olarak üzerinde durulan bir başka salınım, genliği bellek yükü ile korele olarak artan orta hat frontal teta salınımdır, ancak bu bulgu posterior alfa salınımdaki genlik artışı kadar tutarlı bir şekilde bildirilmemektedir. Çalışma kapsamında, Sternberg benzeri bir görsel KSB paradigması kullanılarak 18 sağlıklı gönüllüden EEG kaydı alınmış ve retansiyon fazında ortaya çıkan salınımlar bağımsız bileşen analizi ve hızlı Fourier dönüşümü analizi yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bellek yükü olan koşullar ile kontrol koşulu karşılaştırıldığında, bellek yükü koşullarında kontrol koşuluna göre frontal alfa ($p<0,05$) ve frontal teta salınımlarında ($p<0,001$) düşüş görülen olguların sayısının anlamlı derecede yüksek olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

Majority of EEG studies related with short term memory (STM) / working memory (WM) report increased amplitudes of posterior alpha correlated with the memory load in the retention phase. Another oscillation emphasized in relation with retention phase of STM/WM is increased theta oscillation in middle regions again correlated with memory load. However, in contrast to alpha oscillation increase, theta oscillation increase has not been reported consistently. In this study, EEG recordings were carried out while 18 healthy volunteers were performing a visual STM version of Sternberg paradigm. EEG signals obtained during the retention phase of STM/WM were evaluated using independent component analysis and fast Fourier transform methods. Comparison of the memory load conditions with the control condition showed a significant dominance in the number of subjects who showed a significant frontal alpha decrease ($p<0,05$) and frontal theta decrease ($p<0,001$) in memory load conditions.

Giriş

Bellek en geniş anlamıyla herhangi bir sistemin aldığı girdiler dolayısıyla sahip olduğu izlerdir. Kısa süreli bellek (KSB) kavramı belirli duysal girdilerin geçici olarak depolanmasını [1], KSB kavramı ile iç içe geçmiş olan Çalışma Belleği (ÇB) kavramı ise KSB'nin geçici depolama özelliğine KSB'deki bilgiler üzerinde işlem yapma yetisinin eklenmesiyle ortaya çıkan aktif işlemlemeyi ifade etmektedir [2]. Literatürde genellikle birlikte kullanılan KSB/ÇB süreçleri ve bu süreçlerin farklı fazları (kodlama, retansiyon, geri çağırma) özellikle kognitif sinirbilim alanındaki birçok araştırmanın konusu olmuştur ve altında yatan mekanizmalar elektronörofizyolojik çalışmalarla aydınlatılmaya çalışılmaktadır.

Elektroensefalogram (EEG) serebral kortekste gerçekleşen beyin elektriksel aktivitesinin kafa derisi üzerine yerleştirilen elektrotlardan kaydedilmesiyle elde edilen, beynin elektriksel potansiyel değişimleridir. Olaya ilişkin salınımlar (OİS), bir duysal veya bilişsel ödeve bağlı olarak EEG'nin süregiden ritmik bileşenlerinde ortaya çıkan genlik ve faz değişimleridir. Kısaca OİS, EEG bantlarındaki ritmlerin olayla ilişkili yeniden organizasyonu olarak tanımlanabilir. EEG ölçümlerinde gözlenen temel frekans bantlarındaki (Delta, Teta, Alfa, Beta, Gama) salınımların güçleri, senkronizasyon ve desenkronizasyonları beynin çeşitli kognitif süreçlerinin izlenmesine yardımcı olmaktadır. OİS'ler beyinde iletişim ve asosiyasyon işlevleri için temel bağlantıları sağlar [3] ve literatürde OİS'lerin gerek duysal ve kognitif gerekse motor aktiviteler ile ilişkisini irdelemiş çok sayıda yayın mevcuttur [4, 5, 6]. KSB/ÇB süreçlerinin incelendiği birçok OİS çalışmasında alfa ve teta frekans bantlarındaki salınımların retansiyon süreci ile ilişkili olarak değişim gösterdiği bulunmuştur [7, 8, 9].

Kısa süreli bellek ile ilgili EEG bazlı çalışmaların birçoğunda, KSB/ÇB sürecinin retansiyon fazında posterior bölgelerde alfa salınımı genliğinin bellek yükü ile korele olarak yükseldiği bulunmuştur [7, 9, 10]. Literatürdeki genel eğilimden farklı olarak, farklı yaş gruplarında retansiyon dönemine özgü salınımların özelliklerini araştıran bir çalışmada [11], gençlerde bellek yükü arttıkça posterior alfa salınımlarının gücünde azalma gözlenirken, orta yaşlı ve yaşlılarda bellek yükü ile korele olarak hem frontal hem de posterior alfa salınımlarının gücünde azalma gözlenmiştir. Elektrofizyolojik ölçümler kullanılarak yapılan bir kaynak yerleştirme çalışmasında [9], KSB/ÇB süreçlerinin retansiyon fazı ile ilişkili posterior alfa salınımlarının dinlenme durumundaki spontan alfa salınımları ile aynı odakta

jenere edildiği öne sürülmüştür.

Kısa süreli bellek/çalışma belleği süreçlerinin retansiyon fazına ilişkin olarak üzerinde durulan bir başka salınım, genliği bellek yükü ile korele olarak artan orta hat frontal teta salınımdır [10, 12], ancak bu bulgu posterior alfa salınımdaki genlik artışı kadar tutarlı bir şekilde bildirilmemektedir [7, 9, 11, 13, 14].

Jensen ve arkadaşlarının [7] çalışmasında on katılımcıdan yalnızca birinde KSB/ÇB'nin retansiyon fazında frontal bölgede teta salınımlarının genliğinde yükselme tespit edilmişken, Tuladhar ve arkadaşları [9] teta salınımlarının genliğinde herhangi bir yükselme tespit etmemişlerdir. KSB/ÇB süreçlerini, OİP, OİS ve OİP-OİS ilişkileri açısından ayrıntılı olarak inceleyen bir başka çalışmada teta salınımları ile ilgili herhangi bir bulguya rastlanmamıştır [13]. McEvoy ve arkadaşları [11] KSB/ÇB sürecinin retansiyon fazında gençlerde frontal orta hat teta salınımlarının genliğinde bellek yükü ile korele yükselme gözlerken, yaşlılarda herhangi bir yükselme bulgusuna rastlanmamışlardır. Retansiyon fazına özgü frontal orta hat teta salınımlarına dalgacık dönüşümü (DD) koherans analizi yapılan bir çalışmada [14] teta salınımlarının genliğinde bir yükselme bulunmazken frontal-orta hat ve sol temporal-pariyetal elektrotlarda teta koheransında yükselme görülmüş, sonuç olarak KSB'nin retansiyon sürecinde muhafaza ile ilişkili olarak teta genlik değerlerinin değil teta frekans bandı koheransının önemli bir faktör olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Sternberg benzeri bir bellek paradigması kullanılarak EEG kayıtlamaları yapılmış ve retansiyon fazında ortaya çıkan salınımlar değerlendirilmiştir.

Gereç ve Yöntem:

Çalışmaya 20-30 yaş aralığında, normal veya düzeltilmiş görüğe sahip ve diğer duysal sistemlerinde herhangi bir patolojisi bulunmayan, nörolojik ve psikiyatrik öyküsü olmayan 18 sağlıklı gönüllü (9 kadın, 9 erkek) katıldı.

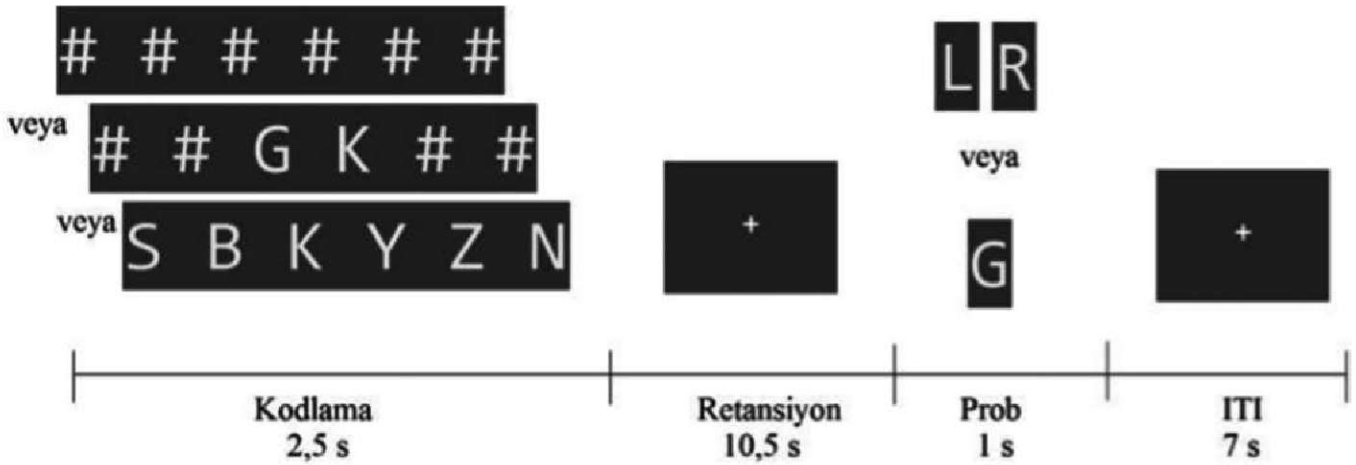
Deneysel Tasarım: Sternberg paradigması, KSB/ÇB incelemelerinde sıkça kullanılan, işitsel ve görsel versiyonları bulunan bir bellek ödevidir. Bu çalışmada Sternberg ödevinin görsel bir versiyonu sessiz harfler kullanılarak oluşturulmuş ve kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Sternberg ödevinde kişi öncelikle ekranda 2,5 s süreyle 2 (2 koşulu) veya 6 (6 koşulu) harften oluşan bir bellek seti görür. 10,5 saniye retansiyon süresinin ardından ekranda tek bir prob 1 s süreyle görülür. Katılımcının ödevi probun bellek setindeki harflerden biri olup olmadığına karar vermek, bellek setinde bulunan

harflerden biri ise işaret parmağı ile cevap klavyesinin (response keypad) sol tuşuna, bellek setinde bulunan harflerden biri değilse orta parmağı ile cevap klavyesinin sağ tuşuna basarak yanıt vermektir. Bu kararı verebilmek için katılımcı, ekranda bellek setini gördüğü anın (kodlama süreci) bitiminden tek harfi gördüğü anın başlangıcına kadar bellek setindeki harfleri aklında tutmaya çalışır.

Bellek setinin 2 harften oluştuğu koşul için harflerin her iki tarafına ikişer adet diyez (#) işareti konularak görsel girdi sayısını eşitlemek amaçlanmıştır. Kontrol koşulu (0 Koşulu) için 6 tane diyez (#) işareti kullanılarak oluşturulan set kullanılmıştır. Bu setin 2,5 s ekranda kalmasının ardından 2 ve 6 koşullarında olduğu gibi ekranda 10,5 s süreyle fiksasyon işareti belirlemekte ve onu takiben ekrana 1 s süreyle L veya R harfi gelmektedir. Katılımcıdan beklenen, ekranda "L" harfi

belirdiğinde işaret parmağı ile cevap klavyesinin sol tuşuna; "R" harfi belirdiğinde ise orta parmağı ile cevap klavyesinin sağ tuşuna basarak yanıt vermektir. "L" ve "R" harfleri 2 ve 6 koşulları için oluşturulan bellek setlerinde kullanılan harfler arasında değildir. Kontrol koşulunda amaç, görsel girdinin ve motor cevapların bellek yükü içeren setlere denk olduğu ancak retansiyon fazında aklında tutma aktivitesi gerektirmeyen bir koşul oluşturabilmektir.

Uygulama için her koşul için (0/2/6) oluşturulan ve 40 uyarandan oluşan setler ikiye bölünmüş, 20x2 setlik blok tasarım kullanılmıştır. Her blok için bellek yükü sabittir (0, 2 veya 6). Her blok için pozitif ("Bellek setinde bulunuyor.") ve negatif ("Bellek setinde bulunmuyor.") cevap sayısı eşit (10) olup; toplamda her koşul için 20 pozitif ve 20 negatif cevap bulunmaktadır.



Şekil 1: Deney tasarımı

Kayıt Sistemi: Elektrofizyolojik kayıtlamalar için 33+1 kanallı MR uyumlu EEG kayıt sistemi (BrainAmp MR+, Brain Vision, Almanya) kullanılmıştır. Kullanılan sistemde MR uyumlu kep üzerine yerleştirilmiş bir referans (FCz), bir toprak (Az), eşzamanlı elektrokardiyogram kayıtlamasına olanak veren bir EKG elektrodu ve uluslararası 10-20 EEG elektrot yerleştirme sistemine göre konumu belirlenmiş 31 veri elektrodu (Oz, O1, O2, Pz, P3, P4, P7, P8, Cz, C3, C4, T7, T8, Fz, F3, F4, FC3, FC4, CPz, CP3, CP4, FT7, FT8, F7, F8, TP7, TP8, TP9, TP10, FP1, FP2) bulunmaktadır.

Uyarın Sunum Sistemi: Paradigma, MATLAB üzerinde yazılan ve uyarın kontrolü sağlayan sunum programı ile kontrol edilmiştir.

Ön Analizler: Artefakt eliminasyonu işlemleri tamamlandıktan sonra 31 kanaldan elde edilmiş olan EEG verisi, tüm EEG kanallarının ortalaması referans olarak kullanılarak ve bu şekilde kayıtlama sırasında referans olarak kullanılmış olan FCz elektrodunun verisi de geri kazanılarak yeniden referanslanmıştır. Ardından her koşula (0/2/6) ait EEG verisi 2-20 Hz aralığında filtrelenmiş ve sadece kas artefaktı içermeyen ve doğru yanıtlanmış olan denemelerin retansiyon dönemlerini içerecek şekilde dilimlenmiştir.

Bağımsız Bileşen Analizi: Kas artefaktı içermeyen ve doğru yanıtlanmış olan denemelerin retansiyon dönemlerini içeren dilimler Brain Vision Analyzer programından MATLAB programına aktarılmış ve her katılımcı için o katılımcının 3 ayrı (0/2/6) koşula ait retansiyon dilimlerinin tamamı temel

seviye düzeltme işleminin (baseline correction) ardından art arda dizilerek bağımsız bileşen analizinden (Independent Component Analysis, ICA) geçirilmiştir. Bu şekilde, özellikle retansiyon döneminde hakim olan EEG jeneratörlerinin bulunması hedeflenmiştir.

EEG kanal verisi birçok nöral aktivite kaynağının karmaşık bir kombinasyonunu temsil etmektedir. EEG verisi kafa yüzeyinde farklı pozisyonlarda bulunan veri elektrotlarından kaydedildiğinden teorik olarak her elektrot bu farklı nöral kaynakların ağırlıklı bir toplamını ölçümleyecektir. ICA, farklı nöral kaynaklara ait ve eşzamanlı olarak kayıtlanmış olan sinyallerin doğrusal bir karışımı olan EEG verisini bağımsız bileşenlerine, başka bir deyişle nöral kaynaklara ait elektriksel potansiyellerin kafa yüzeyindeki projeksiyonuna geri döndürmeyi hedefleyen sinyal işleme tekniğidir [15]. Bağımsız bileşenlerin hesaplanması matematiksel olarak basitçe şöyle ifade edilebilir:

$$ICs = X*W \quad (3-1)$$

Denklemden (3-1) "X" EEG sinyaline ait matrisi, "IC" bağımsız bileşenleri, başka bir deyişle farklı nöral kaynakları temsil etmektedir. "W" ile gösterilen matris, EEG kanal verisini bağımsız bileşenlere ayırmayı sağlayan ağırlık matrisidir [16]. Ağırlık matrisi, bağımsız bir EEG bileşeninin (bağımsız bir EEG jeneratörünün aktivitesinin) EEG elektrotlarına hangi ağırlıkta yansıdığını gösteren bir topografik gösterim veya mekansal filtre olarak da tanımlanabilir.

Bağımsız bileşen analizi hesaplamasından önce filtreleme işleminin yapılmasındaki amaç, literatürde belirtilen şekilde kısa süreli bellek ödevinin retansiyon fazında olduğu belirtilen teta ve alfa bandındaki aktivasyonların yüksek frekanslı dalgalardan arındırılması ve böylece ICA işleminin bileşen seçiciliğinin artırılmasıdır. ICA hesaplamaları, FASTICAG yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [17].

Verinin sadece retansiyon dönemleri kullanılarak elde edilen bağımsız bileşenlerin retansiyon dönemi dışındaki dönemlerde ne şekilde seyrettiklerini ortaya koyarak, bu bileşenlerin süregiden bir EEG aktivitesini mi, yoksa özellikle retansiyon döneminde şiddeti artan veya azalan EEG aktivitelerini mi temsil ettiklerinin ortaya konması hedeflenmiştir. Bu amaçla, yukarıda anlatılan şekilde art arda dizilen retansiyon dönemi verileri kullanılarak elde edilen ağırlık matrisi, artefaktlardan arındırılmış olan ve 2-20 Hz arasında filtrelenmiş süregiden EEG verisiyle çarpılmıştır. Bu şekilde söz konusu bağımsız bileşenlerin tüm deney boyunca

süren zamansal evrimlerini ortaya koyan aktivasyonlar elde edilmiştir.

Tüm EEG verisi kas artefaktının yanı sıra göz hareketlerinden kaynaklanan artefaktları ve da içermektedir. ICA yöntemi, göz artefaktlarını bazı bağımsız bileşenlere atayarak veriden ayırmakta, bu özelliği sayesinde artefaktı ehminasyonunda kullanılmaktadır. Bu sebeple FFT vektörleri hesaplanmadan önce göz artefaktı bölgelere herhangi bir işlem yapılmamış, bu artefaktları içeren verinin ICA yöntemi ile bağımsız bileşenlerine ayrılması, göz artefaktlarının bazı bağımsız bileşenlere atanması ve böylece elimine edilmesi sağlanmıştır.

Fourier Dönüşümü Analizi: Elde edilen aktivasyonlar 2340 ms'lik örtüşmeyen dilimlere ayrılarak, bu dilimlere hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) analizi uygulanmıştır. Fourier dönüşümü sinyal içinde hangi sinuzoidlerin hangi genlikte bulunduğunu belirleyerek sinyali frekans alanına taşır. Böylece frekans alanına taşınan dilimlerin içerdikleri farklı frekanslardaki bileşenlerin içinden 2-8 Hz (teta), 8-12 Hz (alfa) ve 12-20 Hz (beta) bantlarına ait ortalama değerler hesaplanarak, her bir bağımsız bileşenin bu üç frekans bandındaki genliğinin zamansal değişimi ortaya çıkarılmıştır. Böylece her bağımsız bileşenin (örneğin 8. bileşen) 3 farklı koşuldaki (0/2/6) aktivasyonuna ait (8x3=24), teta, alfa ve beta bantlarındaki (8x3x3=72) genlik değerlerini gösteren vektörler oluşturulmuştur.

Yapılan işlemlerin ardından her bağımsız bileşenin her üç frekans bandındaki genliğini gösteren vektörlerin retansiyon dönemleri ile retansiyon dışı dönemler arasındaki farkları istatistiksel olarak karşılaştırılmış, retansiyon dönemleri ile retansiyon dışı dönem aktivasyonları anlamlı farklılık gösteren teta, alfa veya beta vektörleri belirlenmiştir. Bu işlemleri takiben belirlenen vektörlerin ait olduğu bağımsız bileşenlerin topografileri gözden geçirilmiş, kişiler arasında tutarlılık gösteren topografiler belirlenmiştir.

Bulgular:

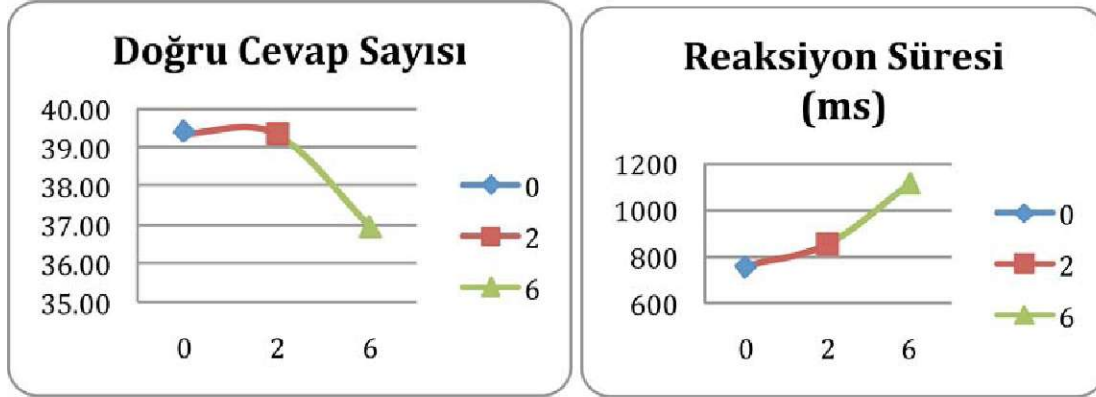
Davranışsal Bulgular: Çalışmaya katılan 9'u kadın 9'u erkek olmak üzere toplam 18 gönüllünün (yaş ortalaması 27,18±2,243) davranışsal bulguları SPSS 16.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Tüm katılımcılara ait davranışsal veriler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Davranışsal ölçümler

		0 koşulu	2 koşulu	6 koşulu
Doğru	<i>Ort.</i>	39,45	39,29	36,88
	<i>SS</i>	0,79	0,92	1,97
	<i>Maks.</i>	40	40	39
	<i>Min.</i>	38	37	33
Yanlış	<i>Ort.</i>	0,47	0,65	3,12
	<i>SS</i>	0,72	0,93	1,97
	<i>Maks.</i>	2	3	7
	<i>Min.</i>	0	0	1
Reaksiyon Süresi (ms)	<i>Ort.</i>	0,7136	0,8104	1,0638
	<i>SS</i>	0,1449	0,1439	0,2675
	<i>Maks.</i>	1,0460	1,104	1,757
	<i>Min.</i>	0,4880	0,641	0,699

Elde edilen ortalama reaksiyon süreleri ve standart sapma değerleri kullanılarak (Şekil 7) bellek yükü içeren 2 ve 6 koşulları için öge başına düşen reaksiyon süresi uzaması tespit edilmiştir.



Şekil 2: Katılımcıların üç koşul için ortalama doğru cevap sayıları ve doğru cevaplara ait ortalama reaksiyon süreleri

6 koşulunda 0 (kontrol) koşuluna göre reaksiyon süresi öge başına $58,35 \pm 21,9$ ms; 6 koşulunda 2 koşuluna göre reaksiyon süresi öge başına $63,34 \pm 96,19$ ms; 2 koşulunda 0 (kontrol) koşuluna göre reaksiyon süresi öge başına $48,37 \pm 35,13$ ms uzamış olup, ortalama reaksiyon süresi her öge için $56,69 \pm 21,2$ ms uzamış olarak bulunmuştur.

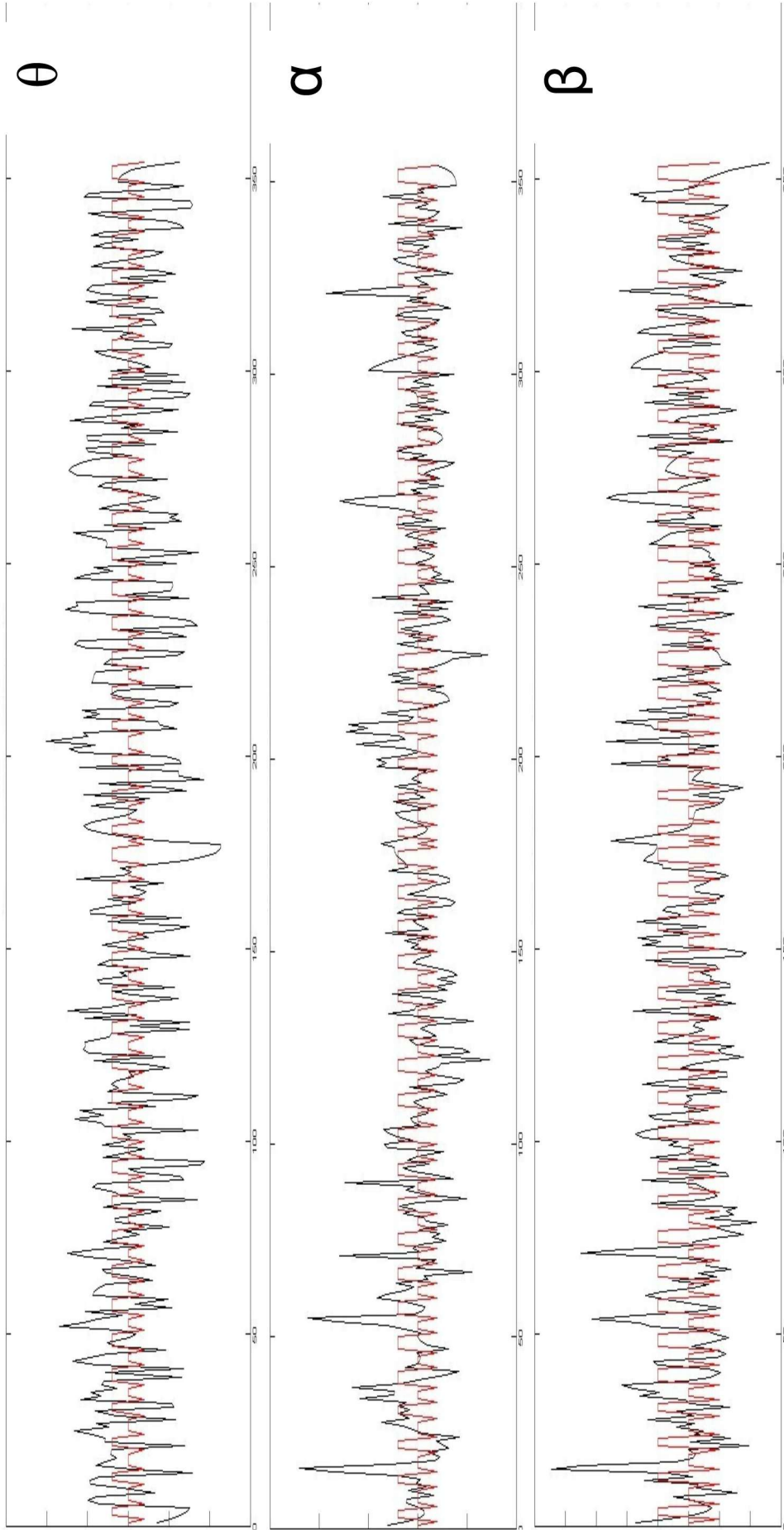
Yapılan istatistiksel analizler sonucunda 6 koşulunun doğru cevap sayısı, yanlış cevap sayısı ve ortalama reaksiyon süreleri açısından hem 0 (kontrol) hem 2 koşullarından anlamlı derecede farklı olduğu görülmüştür ($p < 0,001$). 6 koşulunun doğru cevap sayısı diğer iki koşula göre anlamlı derecede düşmekte, yanlış cevap sayısı yükselmekte ve reaksiyon süresi anlamlı derecede uzamaktadır. 0 (kontrol) koşulu ile 2 koşulu arasında herhangi bir anlamlı fark bulunmamıştır.

Elektrofizyolojik Bulgular:

Artefaktları giderilmiş, veri 2-20 Hz aralığında filtrelenmiş, tüm koşullara ait kas artefaktı içermeyen ve doğru

cevaplandırılmış olan denemelerin retansiyon dönemlerini içeren EEG dilimleri Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) işleminden geçirilmiştir. İki ve 11 numaralı katılımcıların verisinde yoğun olarak artefakt bulunduğundan, bu veriler hesaplamaya katılamamıştır.

Her bağımsız bileşene ait aktivasyon 2340 ms'lik örtüşmeyen dilimlere ayrılarak bu dilimlere hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanmış, söz konusu bileşenin frekans bileşenlerinin zaman içindeki değişimi elde edilmiştir. Bu zaman-frekans dönüşümünden teta, alfa ve beta frekans bantlarındaki (teta için 2-8 Hz, alfa için 8-12 Hz, beta için 12-20 Hz) ortalama genliklerin zamansal değişimi hesaplanmıştır. Böylelikle, aynı topografiye sahip üç frekans bileşeninin zamansal değişimi ortaya konduktan sonra, retansiyon dönemleri ile retansiyon dışı dönemlerdeki değerleri arasında istatistiksel karşılaştırmalar t-testi ile yapılmıştır.



Şekil 3: Teta, alfa ve beta bantlarındaki bileşenlere birer örnek. Siyah çizgi aktivasyon vektörünü, kırmızı çizgideki yüksek sütunlar retansiyon dönemlerini, alçak sütunlar retansiyon dışı dönemleri göstermektedir.

Şekil 11'de teta, alfa ve beta frekans bantlarındaki genlikleri hesaplanmış, retansiyon ile retansiyon dışı dönemleri anlamlı farklılık gösteren aktivasyon vektörlerinden birer örnek gösterilmektedir. Siyah çizgi aktivasyon vektörüdür. Kırmızı ile gösterilen yüksek sütunlar retansiyon dönemlerine, alçak sütunlar retansiyon dışı dönemlere işaret etmektedir. Teta ve beta vektörlerinin retansiyon dönemlerinde retansiyon dışı dönemlere göre genlikler anlamı derecede düşmüştür (teta: $p < 0,001$, beta: $p < 0,01$), alfa vektöründe ise retansiyon dönemlerinde retansiyon dışı dönemlere göre genlikler anlamı derecede yükselmiştir ($p < 0,001$).

Her katılımcı için yukarıdaki işlemler gerçekleştirildikten sonra, katılımcılar arasındaki eşdeğer bileşenler topografi ve frekans bandı uyumu göz önüne alınarak her frekans bandı için frontal ve posterior dağılımlı iki gruba sınıflandırılmıştır. Her katılımcının her grubunda birden fazla bileşen bulunduğu takdirde retansiyon döneminde genliği artan ve azalan bileşenlerin ağırlıkları göz önüne alınarak, toplamda artışlara '+1' ve azalmalara '-1' değeri atanmıştır (Tablo 5).

	6 Koşulu						2 Koşulu						0 Koşulu					
	Frontal			Posterior			Frontal			Posterior			Frontal			Posterior		
	α	β	θ	α	β	θ	α	β	θ	α	β	θ	α	β	θ	α	β	θ
1	0	-1	-1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	-1	0	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0	0	0	1	0	1
4	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1
5	0	-1	-1	0	0	-1	1	1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	0	0
6	0	0	-1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0
7	-1	-1	-1	1	0	-1	1	-1	1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0
8	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	-1	0
9	1	-1	1	1	-1	-1	0	-1	-1	1	0	-1	0	-1	0	1	-1	-1
10	0	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	0	0	0	1	1	-1	-1
12	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	0	-1	1	0	-1	1	-1	1	1	1	-1
13	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	-1	-1
14	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	0	1	-1	-1
15	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	0	1	-1	1	0	0	-1
16	-1	0	-1	1	-1	-1	0	0	0	1	-1	-1	0	-1	0	1	0	-1
17	1	-1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	0	1	0	0
18	0	0	0	-1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0

Tablo 2: Tüm koşullarda, topografi ve frekans bandı uyumu göz önüne alınarak sınıflandırılan bileşenlerin her bir katılımcıda retansiyona bağlı olarak artması (1), değişmemesi (0) veya azalması (-1)

Bu aşamadan sonra, katılımcılar arası istatistiksel analiz ki-kare testi ile gerçekleştirilmiştir. Her deneysel koşuldaki her bir bileşenin katılımcıların anlamlı derecedeki bir çoğunluğunda artış veya azalma göstermesi veya değişmemesi anlamına gelen bu bulgular Tablo 6'da özetlenmektedir. "Sonuç" kolonu, katılımcılar arasında söz konusu bileşenin genliğinin retansiyon dönemlerinde retansiyon dışı dönemlere göre anlamlı derecede arttığını, azaldığını veya değişmediğini göstermektedir. P değerleri '*' ile işaretlenmiş satırlar, ki-kare testindeki anlamlılığın retansiyon döneminde değişimin olmadığı olguların sayısının fazlalığından kaynaklandığı, başka bir deyişle

katılımcıların önemli kısmında söz konusu bileşenin retansiyona bağlı olarak değişmediği durumları göstermektedir. Bu analizin sonuçlarına göre, posterior alfa aktivitesi 0 (kontrol) ve 6 koşullarında anlamlı sayıda çok katılımcıda artmıştır ($p < 0,05$). Bunun yanısıra 6 koşulunda posterior ($p < 0,05$) ve frontal teta aktivitesi ($p < 0,01$) anlamlı sayıda çok katılımcıda düşüş göstermiştir. Son olarak, frontal beta aktivitesi de 6 koşulunda anlamlı sayıda çok katılımcıda düşüş göstermiştir ($p < 0,01$).

Tablo 3: Tüm koşullarda, topografi ve frekans bandı uyumu göz önüne alınarak sınıflandırılan bileşenlerin retansiyona bağlı olarak arttığı, değişmediği veya azaldığı olgu sayıları arasında uygulanan ki-kare testi sonuçları

Bellek Yüğü	Topografi	Frek.	Azalma	Fark yok	Artma	Sonuç	Ki-kare	df	p
6 Koşulu	Frontal	Teta	11	3	2	↓	9,125	2	0,01
		Alfa	6	6	4	-	0,500	2	NS
		Beta	11	4	1	↓	9,875	2	0,01
	Posterior	Teta	10	4	2	↓	6,500	2	0,05
		Alfa	4	2	10	↑	6,500	2	0,05
		Beta	7	5	4	-	0,875	2	NS
2 Koşulu	Frontal	Teta	7	7	2	-	3,125	2	NS
		Alfa	4	7	5	-	0,875	2	NS
		Beta	6	8	2	-	3,500	2	NS
	Posterior	Teta	7	7	2	-	3,125	2	NS
		Alfa	0	6	10	-	1,000	1	NS
		Beta	6	7	3	-	1,625	2	NS
0 (Kontrol) Koşulu	Frontal	Teta	0	13	3	-	6,250	1	0,01*
		Alfa	0	12	4	-	4,000	1	0,05*
		Beta	9	7	0	-	0,250	1	NS
	Posterior	Teta	8	7	1	-	5,375	2	NS
		Alfa	1	5	10	↑	7,625	2	0,05
		Beta	6	9	1	-	6,125	2	0,05*

Bu işlemin ardından, her iki topografi (frontal ve posterior) ve her üç frekans bandı (teta, alfa, beta) için 0 (kontrol), 2 ve 6 koşulları arasında anlamlı sayıda çok katılımcıda değişim gösteren bileşenler yine ki-kare testi ile araştırılmıştır. Bellek yükü olan koşullar (2/6) ile kontrol (0) koşulu karşılaştırıldığında, bellek yükü koşullarında kontrol koşuluna göre frontal alfa ($p<0,05$) ve frontal teta salınımlarında ($p<0,001$) düşüş görülen olguların sayısının anlamlı derecede

yüksek olduğu saptanmıştır. Kontrol koşulu ile 2 koşulu karşılaştırıldığında sadece frontal teta salınımlarının genliğinde düşme görülen katılımcıların sayısının anlamlı derecede fazla olduğu ($p<0,01$), kontrol koşulu ile 6 koşulu karşılaştırıldığında ise hem frontal teta ($p<0,001$) hem de frontal alfa salınımlarının genliklerinde ($p<0,05$) düşme görülen olguların sayısının anlamlı derecede fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 12).

Tartışma:

Davranışsal Bulgular:

Bu çalışmada da, Sternberg paradigması kullanılan benzer çalışmalarda olduğu gibi, bellek setine eklenen her yeni öğeyle reaksiyon süresi anlamlı derecede uzamıştır [7, 10, 18]. Doğru cevap sayısının 6 koşulunda diğer iki koşula göre anlamlı derecede az olmasına karşın, her üç denemede de elde edilen doğru yanıt sayısının yüksekliği, katılımcıların ödeve yeterli derecede dikkat verdiklerini ve bulguların güvenilir olduğunu göstermektedir.

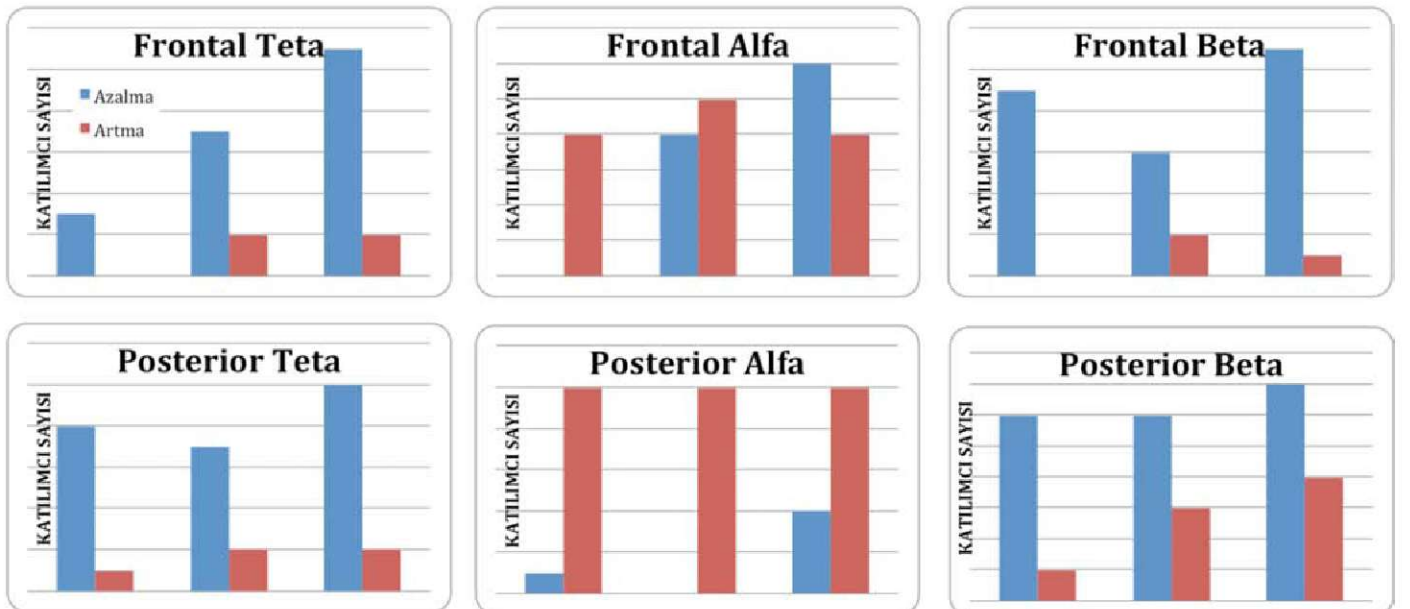
Reaksiyon süresinde bellek setine eklenen her öğe için ortalama 56,69 ms'lik artış, Scheeringa ve arkadaşlarının [10] 59,97 ms'lik bulgusuyla örtüşmektedir, ancak Sternberg'in [19] belirttiği 37.9 (± 3.8) ms'den uzundur. Bu farklılık Sternberg'in orjinal çalışmada rakam kullanmasına karşın çalışmamızda harflerin kullanılmış olması, hem işaret hem de orta parmak ile verilen yanıtların değerlendirilmeye katılmış olması gibi sebeplerden kaynaklanmış olabilir.

Elektrofizyolojik Bulgular:

Literatürde KSB/ÇB sürecinin retansiyon fazında EEG'de teta, alfa ve gama bantlarındaki salınımlarda değişimler olduğu bildirilmiştir [10]. Çalışmamızda bu bilgilerle uyumlu olarak, Sternberg paradigmasında bellek setinin muhafazası sürecinde, retansiyon dışı dönemlere göre posterior alfa salınımlarının genliklerinde bir artış saptanmıştır. Ancak, bu artış bellek setinde 6 koşulunun yanısıra kontrol koşulunda da elde

edilmiştir. Ayrıca, 6 koşulunun retansiyon döneminde gerek frontal gerekse posterior teta salınımlarının ve frontal beta salınımlarının genliklerinde anlamlı düşüşler saptanmıştır. Elde edilen bulguların, bellek yükünden etkilenip etkilenmediğine yönelik analizlerde ise, her iki bellek yükü koşulu (2/6) ile kontrol (0) koşulu karşılaştırıldığında, bellek yükü koşullarında kontrol koşuluna göre frontal alfa ve frontal teta salınımlarında anlamlı bir düşme bulunmuştur. Alfa salınımlarında gözlenen değişimler: Kısa süreli belleğin (KSB) retansiyon fazında bellek yüküne bağlı salınımların araştırıldığı bir çalışmada [7], Sternberg benzeri bir paradigma uygulanarak EEG kayıtlamaları yapılmıştır. Çalışmada retansiyon fazında alfa salınımlarının genliğinde bellek yüküyle korele bir yükselme bulunmuştur. Pz elektrodunda maksimum değerini alan ve posterior ve lateral elektrotlarda belirgin şekilde gözlenen yükselme, bellek setinin sunumundan ortalama 400 ms sonra ortaya çıkmakta ve proba verilen cevaptan bir kaç ms sonra düşmekte olduğu için retansiyona özgü kabul edilmiştir. Bu çalışmada vurgulanan önemli bir nokta da retansiyona bağlı alfa aktivitesinin kaynaklarının dinlenme döneminde ortaya çıkan alfa aktivitesi ile aynı olabileceğidir. Klimesch [12] ise genellikle görsel modalitede yürütülen deneylerde, bellek yükü ile korele olarak posterior alfa salınımlarında gözlenen genlik artışının, kısa süreli bellekte retansiyon sürecinde görsel algıya ilişkin nöral aktivitenin aktif inhibisyonuna bağlı olduğunu ileri sürmüştür

Şekil 4: Frontal/Posterior, 0/2/6 koşullarında, teta/alfa/beta frekans bantlarında genlik artışı veya azalması görülen katılımcı sayıları. İlk kolonlar kontrol (0) koşulunu, ikinciler 2 koşulunu, üçüncüler altı koşulunu göstermektedir.



*Frontal teta genliğindeki azalma kontrol (0) koşulu ile 2 koşulu arasında ve kontrol (0) koşulu ile 6 koşulu arasında, frontal alfa genliğindeki azalma kontrol (0) koşulu ile 6 koşulu arasında anlamlı derecede farklıdır.

Alfa aktivasyonunun duysal girdilerin inhibisyonu ile mi, bellek setinin muhafazasıyla mı ilişkili olduğunu sorgulayan ve magnetoensfalografi (MEG) ve fMRI ile gerçekleştirilen bir çalışmada [9], alfa kaynakları çalışma belleği (ÇB) ile ilişkilendirilen alanlarda ise alfa aktivitesi muhafaza ile, değilse inhibisyon ile ilişkilidir hipoteziyle yola çıkılmıştır. Jensen ve arkadaşlarının [7] çalışmasındaki bulgularla korele olarak alfa aktivitesinin bellek setinin son ögesinden bir kaç yüz ms sonra ortaya çıktığı ve probun gelişile söndüğü ortaya konmuştur. Çalışmada beta frekansında bellek yüküyle korele bir yükselme görülmüş ve bunun alfa salınımının harmoniği olabileceği ileri sürülmüştür. Beş katılımcıdan dördünde, kaynak yerelleştirme ile alfa bulgularının parieto-okspital sulkus kaynaklı olduğunu vurgulayan çalışmanın önemli yorumlarından biri retansiyon dönemine özgü alfa kaynağının dinlenme durumunda ortaya çıkan alfa ile aynı olduğudur.

McEvoy ve arkadaşları [11] mekansal bir Sternberg ödevinin uygulanması sırasında farklı yaş gruplarının performansını ve EEG aktivitesini karşılaştırdıkları çalışmalarında, genç grupta (yaş ort. 21) bellek yükü arttıkça sadece posterior alfa gücünde azalma gözlerken, orta yaşlı grupta (yaş ort. 57) ve yaşlı grupta (yaş ort. 69) bellek yükü ile hem frontal hem de posterior alfa gücünde azalma gözlemişlerdir. Bu bulgu, normal yaşlanmadaki bellek performansı değişiminin fronto-pariyetal ağların değişimiyle ilişkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Çalışmamızda da, 6 koşulunda retansiyon döneminde retansiyon dışı dönemlere göre posterior alfa salınımlarının genliğinde anlamlı bir yükselme saptanmıştır. Bu bulgu, yukarıda söz edilen çalışmaların çoğunda elde edilenle uyumlu görünmesine karşın, çalışmamızda yukarıdaki bir çalışma hariç [10] tüm diğer çalışmalarda mevcut olmayan bir kontrol koşulu da deneye katılmıştır. Literatürdeki çalışmaların çoğunda değişen sayıda öğeden oluşan bellek setleri kullanılarak, elde edilen bulguların bellek yüküne bağlı değişimleri araştırılmasına karşın, bellekte herhangi bir harfin tutulmasını gerektirmeyen bir kontrol koşulu yer almamaktadır (7, 9, 14, 18, 20). Çalışmamızda ise böyle bir koşul da incelenmiş ve bu koşulda da aktif bellek denemelerinin retansiyon dönemine uyan sürede posterior alfada genlik artışı olduğu saptanmıştır. Bu bulgu,

yukarıda özetlenen çalışmalarda tartışılan bir noktanın önemini ortaya koymaktadır. İki çalışmada [7, 9], ki bunlardan birisinde MEG ve fMRI ile kaynak yerelleştirme yöntemi de kullanılmıştır [9], söz konusu posterior alfa aktivitesinin kaynaklarının EEG'de dinlenme durumunda gözlenen alfa aktivitesiyle aynı olduğu ileri sürülmüştür. Özellikle görece uzun retansiyon dönemleri kullanıldığında, bu süre içinde ortaya çıkan alfa artışının gerçekten bellekte muhafazayla mı yoksa görsel uyarıların kesildiği bir dönem olması nedeniyle mi olduğu sorusu akla gelmektedir. Çalışmamızda kaynak yerelleştirme yaklaşımı kullanılmamakla birlikte, EEG'nin bağımsız bileşenlerine ayrıştırılması ile bu soruya yanıt aranmıştır. Kontrol koşuluyla 2 ve 6 koşullarında posterior alanda alfa artışı gösteren bağımsız bileşenler karşılaştırıldığında, alfa artışının 2 ve 6 koşullarında kontrol koşulundan daha fazla sayıda katılımcıda ortaya çıkmadığı görülmektedir. Bu bulgumuz, posterior alfa artışının bellek yüküyle ilintili bir değişiklik olmadığını, görsel uyarıların görece uzun süre kesildiği bir döneme girmekten kaynaklanan, dinlenme durumu alfa aktivitesi olabileceğini düşündürmektedir.

Buna karşın, bağımsız bileşen analizinde elde edilen ve frontal yayılım gösteren diğer bazı bileşenlerin retansiyon dönemindeki alfa gücünün ise 2 ve 6 koşulu bir arada ele alındığında veya sadece 6 koşulunda kontrol koşuluna göre anlamlı ölçüde düştüğü saptanmıştır. Bu bulgunun, herhangi bir harfin bellekte tutulmasını gerektirmeyen kontrol koşulundan farklı olarak aktif bellek ödevi sırasında ortaya çıkması, bellekte muhafaza ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Benzer bir bulgu, yaşlanmaya bağlı bellek değişimlerini inceleyen bir çalışmada, orta ve ileri yaş grubundaki katılımcılarda gösterilmiştir [11]. Bu çalışmada, genç katılımcılarda bellek yüküyle bağlantılı olarak posterior alfa aktivitesinde bir azalma gözlenirken, orta ve ileri yaş katılımcılarda ise hem posterior hem de frontal alanlarda düşüş saptanmıştır.

Teta salınımında gözlenen değişimler: Literatürdeki çalışmaların bir kısmında [10, 21, 22], bellek yükü ile korele olarak artan orta hat frontal teta salınımları bildirilmiştir. Bu bulgu posterior alfa salınımındaki genlik artışı kadar tutarlı bir şekilde bildirilmemektedir. Jensen ve arkadaşlarının [7] çalışmasında Sternberg benzeri kısa süreli bellek ödevinin retansiyon fazında on katılımcıdan yalnızca birinde frontal bölgede teta salınımının genliğinde yükselme tespit edilmiştir. Tuladhar ve arkadaşları [9] teta aktivitesinde bellek yükü ile korele bir yükselme tespit etmemişlerdir.

Çalışmamızda kullanılan benzer bir Sternberg düzeneği kullanılarak (bellek yükü 4), intrakranyal EEG (iEEG) ile teta (4-12 Hz arası alınmıştır) salınımının araştırıldığı bir çalışmada KSB/ÇB ödevinin bir denemesinin tamamında teta gücünün yükseldiği gözlenmiştir [21]. Bu çalışmada kodlama süreci ile başlayıp retansiyon fazını kapsayarak proba cevap verene kadar olan süreçte aktif olan ve cevapla düşen teta aktivasyonu teta kapılması olarak tanımlanmıştır. Yazarların 2006 tarihli bir başka iEEG çalışmasında teta kapılmasına ait odakların oksipito-pariyetal ve temporal kortekslerde görülürken frontal kortekste görülmediği bildirilmiştir [22].

Rakamlar kullanılarak oluşturulmuş Sternberg benzeri bir düzeneğe kısa süreli bellek sürecinde geri çağırma sırasında elde edilen OİP ile delta, teta ve alfa bandında uyarılmış gücün ve faz kilitlenmesinin araştırıldığı bir çalışmada, retansiyon dönemindeki posterior alfa salınımı genliğinde yükselme ile proba yanıtlarda delta bandındaki uyarılmış güç arasında bir ilişki bulunurken, teta salınımı ile ilgili herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Bu durum, kullandıkları bellek yükü düşük olan setlerin (1, 2, 3 veya 4) ortaya çıkaracağı teta salınımının kafa yüzeyinden ölçülen EEG ile tespit edilmek için çok zayıf olabileceği şeklinde yorumlanmıştır [13].

KSB'nin Uzun Süreli Bellek (USB) temsillerinin geçici aktivasyonu olarak tanımlanması son zamanlarda ortaya çıkmış ve kabul gören bir yaklaşımdır [23]. Bu yaklaşıma göre frontal korteks posterior alandaki depolardan seçici ve geçici çağrılar yapar, bu çağırma işlemi KSB olarak tanımlanır. Retansiyonda KSB ve bellek yükü ile birlikte frontal teta salınımında genlik artışının her zaman görülüyor olması üzerine yoğunlaşan bir çalışmada [14] retansiyon dönemindeki posterior alfa ve frontal orta hat teta sahnımlarına Pz (alfa) ve Fz (teta) temel alınarak dalgacık dönüşümü (DD) ile koherans analizi yapılmıştır. Teta aktivasyonunda bir yükselme bulunmazken frontal-orta hat ve sol temporal-pariyetal elektrotlarda teta koheransında yükselme görülmüş, alfa frekans bandı ile ilişkili olarak ise, orta hat pariyetal ve sol temporal-pariyetal bölgelerde bellek yükü ile korele koherans yükselmesi bulunmuştur. Çalışma, KSB'de teta genlik değerleri değil, teta frekans bandı koheransının önemli bir faktör olduğunu vurgulamaktadır.

Kısa süreli bellekten USB'ye aktarımın araştırıldığı bir çalışmada ise [8] bir mekansal bellek ödevinde problemin uyardığı teta aktivitesi ile alfa desenkronizasyonu analiz edilmiştir. USB'den geri çağırma söz konusu olduğunda uyarılmış teta salınımının anterior bölgelerden posterior bölgelere yayıldığı, geri çağırma işlemi tamamlandığında ise

teta salınımının frontal bölgeye yayıldığı gösterilmiştir. Teta salınımının bu mekansal hareketi bellek performansı ile ve alfa desenkronizasyonunun başlangıcı ile korele bulunmuş, bulgular bu fenomenin KSB-USB arası bilgi transferinin bir göstergesi olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

McEvoy ve arkadaşları [11] ise Sternberg ödevi sırasında katılımcıların frontal teta aktivasyonlarını karşılaştırdıklarında, yaş ile reaksiyon süresini doğru orantılı bulmuşlar, gençlerde frontal orta hat teta sahnımı genliğinde bellek yükü ile korele yükselme gözlerken, yaşlı gruplarda bu yükselme bulgusuna rastlanmamışlardır.

Çalışmamızda, kontrol ve aktif bellek koşulları kendi içlerinde değerlendirildiğinde, retansiyon döneminde retansiyon dışı döneme göre teta salınımının artmadığı, ancak gerek posterior gerekse frontal alanlarda azaldığı gösterilmiştir. Bunun ötesinde frontal tetada gözlenen düşüşün, 2 ve 6 koşullarında kontrol koşuluna göre anlamlı sayıda daha çok katılımcıda oluştuğunun gösterilmiş olması, teta salınımının gücündeki bu düşüşün bellekte retansiyon süreciyle doğrudan ilişkili olması gerektiğini düşündürmektedir. Literatürde frontal teta salınımında belleğe bağlı değişim gözlemeyen veya artış gözleyen çalışmalar arasındaki tutarsızlık göz önüne alındığında, retansiyon dönemi EEG'sinin önce bağımsız bileşen analiziyle farklı topografilere sahip bileşenlere ayrıştırıldığı, daha sonra ise bu bileşenler üzerinde gerçekleştirilen frekans analizleri ile elde edilen frontal ve posterior teta salınımının genliğindeki düşüşün KSB'de retansiyon sürecindeki EEG değişimlerini daha güvenilir şekilde yansıttığını ileri sürmekteyiz.

Genellikle sıçanlarda öğrenme sürecinde hipokampuslarda elde edilen yüksek genlikli teta sahnımlarından esinlenerek, benzer bir bulgunun insan EEG'sinde de aranmasına dayalı olarak gerçekleştirilmiş geçmiş çalışmalardaki tutarsız frontal teta artışı bulgularına karşı, bu çalışmada KSB retansiyon sürecinde gerek frontal gerekse posterior teta salınımının genliğinde düşüş saptanması şaşırtıcı görünmekle birlikte, bir sonraki bölümde tartışılacağı gibi, teta salınımının genliğindeki bu azalma ile korele fMRI aktivasyonlarının bellek süreciyle yakından ilişkili alanlarda bulunması, bu bulgunun güvenilirliğini desteklemektedir.

Referanslar:

- 1- Atkinson, R.C. ve Shiffrin, R. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. İçinde: Spence, K.W. (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. New York: Academic Press; 89–105.
- 2- Baddeley, A.D. ve Hitch, G.J. (1974). Working memory. İçinde Bower, G.H. (Ed.). *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press; 47–89.
- 3- Başar, E., Schürmann, M., Demiralp, T., Başar-Eroğlu, C. ve Ademoğlu, A. (2001). Event-related oscillations are 'real brain responses'--wavelet analysis and new strategies. *International Journal of Psychophysiology*, 39 (2-3), 91-127.
- 4- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Schwaiger, J., Stadler, W. ve Roehm, D. (2000). The time locked theta response reflects interindividual differences in human memory performance. *Neuroscience Letters*, 278, 141-144.
- 5- Klimesch, W., Doppelmayr, M. ve Hanslmayr, S. (2006). Upper alpha ERD and absolute power: their meaning for memory performance. *Progress in Brain Research*, 159, 151-166.
- 6- Neubauer, A.C., Fink, A. ve Grabner, R. H. (2006). Sensitivity of alpha band ERD to individual differences in cognition. *Progress in Brain Research*, 159, 167-178.
- 7- Jensen, O., Gelfand, J., Kounios, J. ve Lisman, J.E. (2002). Oscillations in the alpha band (9– 12 Hz) increase with memory load during retention in a short-term memory task. *Cerebral Cortex*, 12, 877–882.
- 8- Sauseng, P., Klimesch, W., Gruber, W., Doppelmayr, M., Stadler, W. ve Schabus, M. (2002). The interplay between theta and alpha oscillations in the human electroencephalogram reflects the transfer of information between memory systems. *Neuroscience Letters*, 324, 121–124.
- 9- Tuladhar, A.M., Huurne, N.T., Schoffelen, J.M., Maris, E., Oostenveld, R. ve Jensen, O. (2007). Parieto-occipital sources account for the increase in alpha activity with working memory load. *Human Brain Mapping*, 28, 785–792.
- 10- Scheeringa, R., Petersson, K.M., Oostenveld, R., Norris, D.G., Hagoort, P. ve Bastiaansen, P.C.M. (2009). Trial-by-trial coupling between EEG and BOLD identifies networks related to alpha and theta EEG power increases during working memory maintenance. *NeuroImage*, 44, 1224–1238.
- 11- McEvoy, L.K., Pellouchoud, E., Smith, M.E. ve Gevins, A. (2001). Neurophysiological signals of working memory in normal aging. *Cognitive Brain Research*, 11(3), 363-76.
- 12- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169–195.
- 13- Schack, B. ve Klimesch, W. (2002). Frequency characteristics of evoked and oscillatory electroencephalic activity in a human memory scanning task. *Neuroscience Letters*, 331, 107–110.
- 14- Payne, L. ve Kounios, J. (2009). Coherent oscillatory networks supporting short-term memory retention. *Brain Research*, 1247, 126-132.
- 15- Comon, P. (1994). Independent component analysis--a new concept? *Signal Process.* 36, 287–314.
- 16- Vanderperren, K., De Vos, M., Ramautar, J.R., Novitskiy, N., Mennes, M. ve Asseondi, S. (2010). Removal of BCG artifacts from EEG recordings inside the MR scanner: a comparison of methodological and validation-related aspects. *NeuroImage*. 50(3), 920-934.
- 17- Hyvärinen, A. ve Oja, E. (2000). Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural Networks*. 13, 411–430.
- 18- Cairo, T.A., Liddle, P.F., Woodward, T.S. ve Ngana, E.T.C. (2004). The influence of working memory load on phase specific patterns of cortical activity. *Cognitive Brain Research*, 21, 377– 387.
- 19- Sternberg, S. (1966). High speed scanning in human memory. *Science*, 153, 652–654.
- 20- Axmacher, N., Mormann, F., Fernández, G., Cohen, M.X., Elger, C.E. ve Fell, J. (2007). Sustained neural activity patterns during working memory in the human medial temporal lobe. *Journal of Neuroscience*, 27, 7807–7816.
- 21- Raghavachari, S., Kahana, M.J., Bourgeois, B., Madsen, J.R., Rizzuto, D.S. ve Lisman, J.E. (2001). Gating of Human Theta Oscillations by a Working Memory Task. *The Journal of Neuroscience*, 21(9), 3175–3183.
- 22- Raghavachari, S., Lisman, J.E., Tully, M., Madsen, J.R., Bromfield, E.B. ve Kahana, M.J. (2006). Theta oscillations in human cortex during a working-memory task: evidence for local generators. *Journal of Neurophysiology*, 95(3), 1630-1638.
- 23- Jonides, J., Lewis, R.L., Nee, D.E., Lustig, C.A., Berman, M.G. ve Moore, K.S. (2008). The mind and brain of short-term memory. *Annual Review of Psychology*, 59, 193–224.