

Salınımsal Nöral Topluluklar Kuramı

Prof. Dr. Sirel Karakaş

Hacettepe Üniversitesi Deneysel Psikoloji Uzmanlık Alanı
Bilişsel Psikofizyoloji Araştırma Laboratuvarı
TÜBİTAK Beyin Dinamiği Multidisipliner Çalışma Grubu

Prof. Dr. Erol Başar

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı
TÜBİTAK Beyin Dinamiği Multidisipliner Çalışma Grubu

İletişim:

Prof. Dr. Sirel Karakaş
Hacettepe Üniversitesi
Deneysel Psikoloji Uzmanlık Alanı
Beytepe 06532, ANKARA
Telefon: 0312 2978335
Faks: 0312 2992100
e-posta: skarakas@hacettepe.edu.tr

Salınımsal Nöral Topluluklar Kuramı

ÖZET Literatürde beynin çalışma biçimini açıklamak üzere çeşitli kuram ve modeller öne sürülmüştür. İlk açıklamalar seri işleme ve kapasite konuları üzerinde durmuş, son dönemlerde ise paralel işleme kuramları önplana çıkmıştır. Salınımsal nöral topluluklar kuramı; Goldman-Rakic'in 'paralel duyu-sal-bilişsel işleme kuramı', Mesulam'ın 'geniş kapsamlı nöro-bilişsel sinir ağlarında dağıtılmış işleme kuramı' ve Fuster'in 'kortikal belleğin hiyerarşik, dinamik ve dağıtılmış sinir ağları kuramı' gibi, bir paralel işleme kuramıdır. Salınımsal nöral topluluklar kuramı, yoğun bir veri tabanına dayanarak belirlenmiş olan dört temel ilkeye dayanmaktadır. Kuramda beynin çalışma biçimi, bu dört ilke bütünleştirilerek açıklanmaktadır. Birinci ilkeye göre, beyin güvenilir tepkileri; beynin kendiliğinden oluşan öz salınımları ve uyarıcıyla rezonansa girerek yeni dalgabi-

çimlerine dönüşen ve işlevsel anlam kazanan salınımsal tepkileridir. İkinci ilkeye göre her salınım çok sayıda işlevi temsil etmektedir. Belli frekanstaki salınım; uyarıcı-öncesi ve uyarıcı-sonrası özellikler, beyin alanı, uyku-uyanıklık durumu ve canlı türü değişkenlerinin düzey birleşiminden oluşan bir bileşendir. Üçüncü ilkeye göre beyne seçici olarak dağılmış paralel salınım sistemleri vardır. Beyin salınımları üzerindeki araştırmalara dayananan bu ilkenin geçerliği, nöroanatomik bulgular temelinde de gösterimlenmiştir. Dördüncü ilkeye göre ise, seçici olarak dağılmış paralel salınım sistemleri bütünleşik faaliyette bulunur. Beyin kadar bilişi de açıklama gücüne sahip salınımsal nöral topluluklar kuramında bütünleşme temel kavramdır; zira "bütün parçalarının toplamına değil çarpımına eşittir."

Anahtar Kelimeler: Salınımsal nöral topluluklar kuramı; Beynin salınımsal etkinliği; Paralel işleme; Bütünleşik nörofizyoloji

Theory of Oscillatory Neural Groups

ABSTRACT Several theories and models about the working manner of brain, are proposed in the literature. While older theories dealt with issues such as serial processing and capacity, recent theories have brought parallel processing into focus. Theory of oscillatory neural groups is a parallel processing theory such as Goldman-Rakic's "parallel sensory-cognitive processing theory", Mesulam's "large-scale neurocognitive networks and distributed processing", and Fuster's "hierarchical, dynamic and distributed networks of cortical memory theory". Theory of oscillatory neural groups is based on four main principles determined by the use of an extensive database. This theory explains the working manner of brain by combining these four principles. According to the first principle, reliable reactions of brain are the oscillatory reactions in resonance with the stimulus and the

spontaneous self oscillations of brain, thus transformed into new waveforms to gain a functional meaning. According to the second principle, each oscillation represents several functions. Oscillation of a certain frequency is a composition of variables such as pre- and post-stimulus status, region of brain, state of sleep-awakeness, and species. The third principle states that there exist parallel oscillatory systems selectively distributed in the brain. Based on researches about oscillations of brain, this principle is also confirmed by neuroanatomical findings. The fourth principle claims that selectively distributed parallel oscillatory systems function in a composite manner. Unification is the main concept of this oscillatory neural groups theory that can explain cognition as well as brain, because "the whole equals to the factor of its components rather than the sum of them."

Keywords: Theory of oscillatory neural groups; oscillatory actions of brain; parallel processing; composite neurophysiology.

GİRİŞ

Beyni anlamak için, öncelikle, onun yapısal özellikleri, ayrıca da bu yapının mümkün kıldığı işlevleri (function) anlamak gerekir. Beynin nasıl çalıştığı konusunda literatürde yer alan çeşitli kuram (theory) ve modeller vardır. Bunlar arasında seri işleme modellerine (erken seçme, geç seçme, süzgeç zayıflatma ve seçici kurulum modelleri) göre bilgi aşağıdan-yukarıya doğru bir sırayla işler. Yapısal nitelikteki bu modellerden farklı olarak kapasite modellerinde (kısıtlı veri, kısıtlı kaynak, ayırmamış çeşitli kaynaklar, çok sayıdaki kaynak modelleri), beynin, kısıtlı bir kapasiteyi bilgi işlemedeki işlemlere bölüştürdüğü iddia edilmektedir (Ellis ve Hunt, 1993; Klatzky, 1980).

Diğer bir grup modele göre beyin bilgiyi paralel olarak işlemektedir. Beynin paralel ve dağıtılmış (distributed) işleme modeli ilk olarak beynin ancak bir 'kara kutu' olarak ele alınabildiği bilişsel (cognitive) psikoloji kapsamında önerilmiştir (McClelland ve diğ. 1986). Ancak günümüzde, paralel ve dağıtılmış işleme modeli, beyne de uygulanmaktadır. Goldman-Rakic'in (1988) 'paralel duyusal-bilişsel işleme' kuramı, Mesulam'ın (1990) 'geniş kapsamlı nörobilişsel sinir ağlarında dağıtılmış işleme' kuramı ve Fuster'in (1995) 'kortikal belleğin hiyerarşik, dinamik ve dağıtılmış sinir ağları' kuramı bunlardan birkaçıdır.

Paralel işleme modellerinden Goldman-Rakic'inki psikofizyolojik ilişkilerden yola çık-

maktadır; buna karşın Mesulam'ın kuramı daha çok nöroanatomik özellikler temelinde geliştirilmiştir. Fuster'in kuramı ise, büyük çapta, özellikle primatlardan elde edilen tek-hücre kayıtlarına temellenmektedir. Uzun yıllar içinde oluşturulmuş ve son şeklini 1998-2000 yılları arasında almış olan salınımsal nöral topluluklar (oscillatory neural assemblies) kuramında ise Başar, (1998, 1999; Başar ve Karakaş, 1989, 2000) beynin paralel işleyişinin temelinde, nöral topluluklarca sergilenen salınımsal davranışların yattığını öne sürmektedir.

Salınımsal Nöral Topluluklar Kuramı

EEG, beynin bilinen herhangi bir uyarıcı olmaksızın yani kendiliğinden (spontaneous) oluşan elektriksel etkinliğidir. Başlangıçta ve ayrıca da 1970-1980 yılları arasındaki dönemde, bu elektroensefalografik (EEG) faaliyetin, beynin ardalan gürültüsü olduğu düşünülmüştür. İlk olarak Berger (1929) EEG'nin gürültü olmadığını, aksine, EEG'nin zihinsel hallerle yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Ancak EEG'de gözlenen salınımlar, ilk kez, salınımsal nöral topluluklar kuramı kapsamında, beyin faaliyetinin 'temel ilkesi' (basic principle) olarak ele alınmıştır. Salınımsal nöral topluluklar kuramının iç yapısı dört ilke etrafında kurulmuştur. Tablo 1'de bu ilkeler özetlenmekte ve şematik olarak gösterilmekte, dilbilim kavram (concept) ve terimleri ile aralarında benzeşim kura-

Tablo 1. Salınımsal nöral topluluklar kuramının şematik gösterimi.

Temel İlkeler	Salınımsal Dinamikler	Analog Kodlayıcı Sistem	Fonksiyonlar
1. Beyin salınımsal nöral aktivite gösterir		Fonemler	Delta → Gamma salınımları duyusal ↔ bilişsel fonksiyonları temsil eder ↓ Bütünleşik Nörofizyoloji/biliş ↓ Örnek: "babaanne" algısı
2. Her salınımsal aktivite bir çok fonksiyonu temsil eder		Kelimeler	
3. Çok sayıdaki osilasyon beyne seçici olarak dağılmıştır ve bunlar paralel olarak çalışır.		Sözdizimi	
4. Seçici olarak dağılmış paralel salınımsal sistemler işlevsel bütünlük gösterir.		Cümle	

rak açıklanmaya çalışılmakta (Ergenç, 2000) ve her ilkenin temel işlevi belirtilmektedir.

İlke 1: "Beynin Güvenilir Tepkileri Salınımlardır"

Beyin birkaç frekans bantında salınımsal etkinlik (activity) gösterir. Salınımsal nöral topluluklar kuramına göre beyin öz (intrinsic) salınımları; onun her an değişerek devam eden, bilinen herhangi bir belirleyici (deterministic) uyarıcı olmaksızın da gözlenebilen, kendiliğinden etkinliğini (EEG) oluşturur. Bu salınımlar beyin tepki eğilimini ve tepkilerini yani nedensel bir etki ile uyarıldığında beyinden kaydedilen olay-ilişkili potansiyelin (event-related potential: ERP) dalgabıçimini (waveform) oluşturur (Başar ve diğ. 1998; Yordanova ve Kolev, 1998). ERP'nin ayrıştırılması ile elde edilen bu salınımlar, 'olay-ilişkili salınımlar' (event-related oscillation: ERO) olarak adlandırılmıştır (Karakaş, Erzengin ve Başar, 2000a ve b).

Beynin güvenilir (reliable) olayları olan salınımlar, beyin işleyişini açıklayan prensiplerin temel ögesidir. Dilbilimsel bir benzeşimle, salınımların, bir dile özgü en küçük sessel birim olan fonemlere karşılık olarak düşünmek mümkündür. Bu ilişki Tablo 1'de özetlenmektedir.

Bilimsel kanıtlara bazı örnekler. Bilimde olayların güvenilirliği, olayların, bağımsız değişkene (independent variable) bağlı olarak sistematik biçimde değişmesi ile kanıtlanır. Zira olayların nedensel etkiler altında sistematik olarak değişmesi, bunların gelişigüzel bir şekilde meydana gelmediğini, bunların önkoşulların yol açtığı sonuç olaylar olduğunu ortaya koyar (Karakaş, 1988). Salınımların frekansı, bunların kaydedildiği beyin alanı ile salınımın neden olan duyuşsal (sensory) uyarıcının türü arasındaki uyum ile etkilenmektedir (uyarıcının işitsel olması, kaydın da birincil işitsel korteks üzerinden alınması gibi). Uyarıcı türüne uygun kayıt alanında, uyarıcı, alfa frekansında salınım; uygun olmayan kayıt alanında ise teta frekansında salınımın yol açmaktadır (Başar ve diğ. 1997a; Schürmann and Başar,

1994). Alfa salınımlarının duyuşsal süreçle ilişkisi, optik nevriti olan multipl skleroz hastalarında, bu salınımların ortadan kalkmasıyla da kanıtlanmaktadır (Başar-Eroğlu ve diğ. 1993). Gelişim, alfa frekansında değişikliğe yol açmakta; alfa, erken yetişkinlik döneminde eniyilenmekte (optimisation), ileri yaşlarda alfa salınımlarını giderek zayıflamaktadır (Başar ve diğ. 1997c). Erken gamma da gelişime bağlı olarak değişmekte, geç yetişkin deneklerde gamma süresi uzamaktadır (Kafadar ve diğ. 2000). Atlanan uyarıcı (omitted stimulus) paradigmasında, denekten, sabit zaman aralıklarıyla verilen her dört uyarıcıdan sonra atlanan beşinci uyarıcının gelmiş olması gereken anı tahmin etmesi istenmektedir. Alfa salınımlarının atlanan uyarıcıya zaman-kilitlenme (time-locking) göstermesi; denegin, yaptığı zamansal tahmine duyduğu güveni temsil etmektedir (Başar ve diğ. 1989). Uyarıcıya dikkat etmeme durumunda farklı olarak, odaklanmış (focused) ve bölünmüş (divided) dikkat altında yüksek genlikli delta ile uzun süreli teta ve alfa salınımları elde edilmektedir (Irak ve diğ. 2000).

İlke 2: "Her Osilasyon Çok Sayıda İşlevi Temsil Eder"

Beynin güvenilir tepkileri değişik frekanslarda sergilenen salınımlardır. Literatürde kafa derisi üzerinden çok yüksek frekanslar da kaydedilmiştir (Karakaş ve Başar, 1983). Bununla beraber, beyin faaliyeti açısından üzerinde yoğun olarak durulan frekanslar delta, teta, alfa, beta ve gamma bantlarıyla sınırlıdır (Başar ve Karakaş, 1998). Güncel literatürde, bu frekans bantlarının bazılarının alt-frekans bantlarına da bölündüğünü gösteren bulgular vardır; yavaş, orta ve hızlı gamma ya da yavaş ve hızlı alfa gibi (Klimesch, 1999; Karakaş ve diğ. 2001). Bu alt-bantlar da hesaba katıldığında, beyinden kaydedilen frekansların sayısı 10'a ulaşmaktadır. Bu durumda madalyonun diğer yönü, kısıtlı sayıdaki frekanslarda gerçekleşen beyin salınımlarının çok sayıda bilgi işleme (information processing) etkinliği ile ilişkili olmasıdır. Burada doğal olarak akla gelen soru, bu kadar az sayıdaki olayla, özellikle insan zih-

ninin karmaşıklığının nasıl açıklanabileceğidir? Ancak insan davranışını inceleyen psikoloji biliminin kullandığı bağımlı değişken (dependent variable) ölçümleri de davranımın gecikmesi, süresi, şiddeti, sıklığı ve kimi deneylerde de, hangi tepkinin seçildiğinden ibaretir. Kısıtlı sayıda olay, çok karmaşık süreçlerin tanımlanması/açıklanmasında nasıl kullanılabilir?

Beynin elektriksel etkinliğini tanımlamada salınımın oluşma sıklığı yani frekansı, salınımı belirleyen özelliklerden sadece biridir. Uyarıcı-sonrası (yani ERP) özellikler arasında salınımın gecikmesi (latency), süresi, genliği, bastırılması (blocking), daha sonraki bir zaman penceresinde ortaya çıkması, uyarıcıya zaman-kilitli (time-locked) veya faz-kilitli (phase-locked) olması bulunmaktadır. Uyarıcı-öncesi (yani EEG) özellikler arasında salınımın süresi, genliği, bastırılması veya zayıflaması (attenuation) bulunmaktadır. Ancak bir özellikler kümesine sahip belirli frekanstaki salınımın işlevsel anlamı çeşitli koşullara göre değişiklik gösterir. Bunlar arasında salınımın kaydedildiği beyin alanı, canlının türü (species) ve uyku-uyanıklık durumu bulunmaktadır (Başar ve diğ. 1997b; Başar ve Karakaş, 1998; Karakaş ve diğ. 2000).

Yukarıda verilenler doğrultusunda, örneğin yüksek genlikli, uzun süreli ve kısa gecikmeye sahip bir gamma tepkisi; yine yüksek genlikli, uzun süreli ancak uzun gecikme süreli bir gamma tepkisinden farklıdır. Aynı türün bireylerinde, birincil görme alanından kaydedilen gamma, hippokampus'dan kaydedilen gammadan farklıdır. Veya örneğin Helix Pomatia'dan kaydedilen gamma, insanda frontal bölgeden kaydedilen gamma faaliyetinden farklıdır. Her salınım, yukarıda belirtilen uyarıcı-öncesi ve uyarıcı-sonrası tanımlayıcı değişkenlerin farklı düzeylerinin bir bileşkesidir. Bu değişkenlerin hesaba katılması sonucunda ortaya çıkan birleşim (combination) sayısı, insan zihninin işlevsel karmaşıklığını temsil edebilme gücünü taşımaktadır.

Her dilde kısıtlı sayıda fonem vardır. Bir dildeki tüm sözcükler, bu fonemlerin farklı birle-

şimlerinden oluşmuştur; gereksinim doğdukça yeni sözcüklerin türetilmesinde de, yine, aynı fonemler kullanılmaktadır. Tablo 1'de, salınımların, dildeki fonemlerin karşılığı olduğu belirtilmektedir.

Bilimsel kanıtlara bazı örnekler. Canlıların türünden bağımsız olarak alfa, kullanılan uyarıcıyla ilgili beyin alanından kısa gecikmeyle ve yüksek genlikli olarak kaydedilir. Yani alfa duyuşsal bir tepkidir. Uyarıcı türüne uygun olmayan alanlardan kaydedilen alfanın latansı uzamakta, genliği ise çoğu durumda ancak ardalanın gürültüsü düzeyinde olmaktadır (Başar ve diğ. 1997a). Ancak alfa tepkisinin her tür uyarıcıya karşı elde edildiği durum da vardır; alfanın bu 'duyum türünden bağımsız' olan tepkisi, hippokampus gibi, çok sayıda duyum ile uyarılabilen alanlardan elde edilmektedir (Başar ve diğ. 1999). Hippokampus çağrışımsal (associative) öğrenmenin gerçekleşmesini sağlayan kritik beyin yapılarından biridir (HM Karakaş, 2000; Penfield ve Milner, 1958). Bütün bunlara göre alfa, salt duyuşsal süreçler yanında, çağrışımların kurulması, öğrenme ve öğrenilenlerin sağlamlaşması (consolidation) gibi üst düzey bilgi işleme süreçleriyle de ilişkilidir. Belli sırası olmayan, düzensiz bir sırada meydana gelen olaylara ilişkin değerlendirme veya bu gibi zihinsel süreçler, frontal lobların denetimi altındadır. Bu gibi görevlerin (task) başarılması, tekrarlanan olayları içeren görevlerin başarılmasından daha zordur; örneğin karışık bir sırada (random) sayı üretme, zor bir görevdir (Klatzky, 1980). Bu doğrultuda, alfanın süresi, uyarıcıların tesadüfi olarak veya sabit zaman aralıklarıyla verilmesine göre değişmektedir (Başar, 1989). Bu bulgular, alfa tepkisinin, görevin zorluğuna yani bilişsel yüke göre (cognitive load) de değiştiğini göstermektedir (Stampfer ve Başar, 1985). Alfanın çok sayıda işlevi temsil etme durumu literatürde, 'alfa değil alfalar' deyiimi ile özetlenmiştir (Başar ve diğ. 1997a).

Salınımların birden fazla işlevi yerine getirmesi, alfa dışındaki salınımlarda da gösterimlenebilir. Helix Pomatia gibi basit bir omurga-

sızdan insana kadar bütün canlılarda gözlenen gamma tepkisi, kullanılan bilişsel paradigma- nın türünden bağımsız olarak her tür uyarıcı ya karşı elde edilmektedir (Karakaş ve Başar, 1998). Uyarıcıya zaman-kilitli olan bu erken gamma, duyuşal süreçleri temsil eden bir tepkidir. Buna karşılık karmaşık bilişsel paradigmalarda (örn. çoklu-kararlılığa sahip görsel algı deneyi), gamma tepkisi geç zaman penceresinde elde edilmektedir. Bu geç gamma, uyarıcı ile zaman kilitlenmesi göstermemekte; daha çok uyarıcı ile 'endüklenmiş' özellik sergilemektedir (Başar-Eroğlu ve diğ. 1996). Geç gamma, seyrek uyarıcı (OB) paradigmasında kedi hippokampus'unun H3 ve H4 katmanlarında; P300 gecikmesinde ortaya çıkmaktadır (Başar-Eroğlu ve Başar, 1991). P300 ise insan- da dikkat, uyarıcı değerlendirmesi ve belleğin güncelleştirilmesini (updating) temsil eden bir ERP bileşenidir (Karakaş, 1997). Bütün bunlara göre, geç gamma, bilgi işlemenin yüksek kortikal işlevlerini temsil etmekte, bu 'yüksek' kortikal işlevleri neyin tetiklediği ise, canlı- nın türüne göre değişmektedir. Karakaş ve arkadaşlarının (2001) değerlendirme makalesinde gammanın çok-işlevli bir salınım olduğu tartışılmıştır. Söz konusu makalede literatür bulguları değerlendirilmiş ve erken gammanın duyuşal, geç gammanın ise bilişsel işlevlerle ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

İlke 3: "Beyne Seçici Olarak Dağılmış Paralel Salınım Sistemleri Vardır"

Zihnin ve aynı şekilde beynin işleyişini açıklamak üzere öne sürülmüş olan 'seri işleme' modeli, bazı temel duyuşal ve motor işlemler açısından yeterli olabilmektedir. Ancak bu modelin, ne zihnin ne de beynin bütünü- nü açıklamak açısından yeterli olamayacağı ortadadır. Beyin, her biri en az 1000 sinaps kuran (bu sayı 5000-6000'e çıkabilmektedir) 10^{10} dolayında nöron- dan oluşmaktadır. Bu bağlantılar nedeniyle etki kapasitesi katlanarak artan nöronlardan oluşan beyin, 'sistemlerin süper- sistemi' olarak değerlendirilmektedir (Damasio, 1994). Böyle bir sistemin yalnızca aşağı- dan-yukarıya işliyor olmasını düşünmek müm-

kün değildir; beyin yukarıdan-aşağıya da işle- meli, bunun da ötesinde, beyin, işlevlerin pa- ralel olarak yerine getirildiği bir sistem olma- dır. Aşağıdan-yukarıya işleme, yukarıdan aşa- ğıya işleme, paralel işleme, birleşme (conver- gence), ayrışma (divergence).... Bu çok karı- şık işlemleri aynı anda gerçekleştiren, biliş ve daha da genel olarak zihni olanaklı hale getire- bilen beyin; karmaşayı, iç uyumda (homeosta- sis) da örneklendiği üzere, çok özel bir düzen- lilik adına çözümlenmiştir. Karışıklık anarşi le- hine değil, düzen lehine çözümlenmiştir. Bu karmaşık düzenin kritik ögesi ise, beyinde her- şeyin herşeyle ilişkili olmamasıdır; beyinde yapı ve alt sistemler birbirine seçici (selecti- ve) olarak bağlanmıştır.

Beynin doğal frekanslarını temsil eden ve en basit canlıdan insan beynine kadar tüm si- nir sistemlerinin işleyişinde yer alan salınımlar, beyne seçici olarak dağılmış yapılar bo- yunca gözlenmektedir. Beyin yapılarına seçici olarak dağılmış salınım sistemleri ile beyin ya- pılarına seçici olarak dağılmış nörotransmit- ter (NT) yolları (pathway) arasında bir ben- zeşim kurulabilir (Aydın, 2000). Beyin yapıları- na seçici olarak dağılmış salınımlar ve NT yo- lakları arasındaki ilişki, gelecekte bir mantık- sal irdeleme ürünü olmanın ötesine de geçebi- lir. Gelecekteki çalışmalarla, bir düzeyin (nö- roelektrik) diğer düzeyle (biyokimyasal) ilişki- sini bilimsel veriler yoluyla gösterimlemek ve bu iki düzeyi bütünleştirmek (integration) mümkün olabilir.

Yukarıda belirtilenler doğrultusunda, be- yinden kaydedilen salınımların, beyindeki ile- tişimin temel ögesi veya yapı taşı (building block) olduğu değerlendirmesini yapmak ye- rinde olmaktadır. Salınımlar, beyindeki yapıla- rın, seçici olarak sistemler altında örgütlen- mesini sağlayan iletişim kuralıdır. Dilbilimsel bir alıntıyla, seçici olarak dağılmış osilasyon sistemleri, beynin sözdizim (syntax) kuralıdır.

Bilimsel kanıtlara bazı örnekler. İnsanda saçlı deri üstüne yerleştirilmiş yüzey elektrot- larından kaydedilen görsel uyarılma potansi- yellerindeki (evoked potential) duyuşal nite-

likteki alfa-merkezli (5-18 Hz) salınım, oksipital alanda başat (dominant) olmak üzere, sentroparietal dağılım gösterir. Buna karşılık, işitsel uyarılma potansiyellerindeki alfa-merkezli (5-12 Hz) tepki frontosentral dağılıma sahiptir (Schürmann ve Başar, 1994). Hayvan modelinde derin elektrot kullanılarak yapılan çalışmalar, görsel uyarılma potansiyelindeki alfa tepkisinin görsel yol üzerindeki yapılarda yer aldığını ortaya koymuştur; görsel yoldaki bu yapılar oksipital korteks, lateral genikulat nukleus ve superior kollikulus'tur (Başar ve diğ. 1975a). Buna karşılık işitsel uyarılma potansiyelindeki alfa tepkisi, görsel yol üzerindeki yapıların işitsel yol üzerindeki benzeşleri (analoge) üzerinde yer almaktadır. Bu yapılar anterior ektosylvian girus, medial genikulat nukleus ve inferior kollikulus'tur. Buna karşılık duyular-üstü (supra-modal) çağrışım alanı olan hippocampus'dan her iki uyarıma karşı alfa tepkisi elde edilmiştir. Aynı şekilde, uyarıma özel olmayan (nonspecific) duyuşsal yolu içeren, kortekste genel uyarılmışlık halinden (arousal) sorumlu olan retiküler aktivasyon sisteminde de her iki uyarıcıya karşı alfa tepkisi elde edilmiştir (Başar ve diğ. 1975a).

Seçici dağılım, örneğin gamma tepkisi için de gösterilebilir. İşitsel uyarıcının duyumuna ilişkin gamma, derin elektrotlar aracılığıyla kedinin işitsel yol yapılarından kaydedilmiştir (Başar ve diğ. 1995). İnsanda yüzey elektrotlar aracılığıyla kaydedilen işitsel uyarılma potansiyelindeki erken gamma bileşeni de, birincil işitsel alanın bulunduğu yerin beklenen yansıması doğrultusunda, sentrofrontal dağılım göstermiştir (Karakaş ve Başar, 1998). Çoklu kararlılık (multistable) gösteren uyarıcıların sunulduğu bilişsel deneyde, uyarıcının değişmesine tepki olarak ortaya çıkan 'endüklenmiş' geç gamma tepkisi sağ hemisfer eğilimli olarak C4, F4, Cz ve C3 elektrotlarından elde edilmiştir (Başar-Eroğlu ve diğ. 1996).

Yukarıdaki ve benzeri diğer bulgular, beynin doğal frekanslarını temsil eden salınımların beynin içine seçici bir şekilde dağılmış olduğunu göstermektedir. Bu seçici ve dağıtılmış sistemler, duyuşsal veya bilişsel uyarıcıyla etkilendiğinde rezonans durumuna girmektedir.

Bu rezonansın niteliği, duyuşsal veya bilişsel nitelikteki görev ve incelenen beyin yapısı tarafından belirlenmektedir.

İlke 4. "Seçici Olarak Dağılmış Paralel Salınım Sistemleri Bütünleşik Etkinlikte Bulunur"

Beyne seçici olarak dağılmış olan paralel salınım sistemlerinin varlığı, bütünlüğüne müdahale edilmemiş (intact) canlıların, örneğin insanın, başta bilişsel olmak üzere diğer işlevlerini açıklamada yeterli olabilir mi? Bu sorunun yanıtı 'hayır' olacaktır; paralel işleme tek başına yeterli değildir. Diğer önemli kavram bütünleşme'dir. Bu kavramın açıklanmasında Başar ve Karakaş'tan (2000) alınan bir örnekten yararlanılabilir. Diyelim ki birey tayftaki her bir renk için 7 sayıdan oluşan bir dizi öğrenecek yani koşula bağlı çağrışımsal öğrenme (conditional associative learning) yapacak. Test bölümünde bir renk söylendiğinde, denekten bu renkle ilişkili sayı dizisini söylemesi istenecek. Bu iş için, öncelikle seslerin işitsel sistem tarafından algılanması gerekecek. Ancak konu dille ilgili olduğuna göre, söz konusu seslerin; dilin kazanılması, algılanması ve çözümlenmesi ile ilgili Wernicke alanında da işlem görmesi gerekecek. Yoksa seslerin birey için bir sözel anlamı olmayacak. Belirli sayı adları algılandı. Bunlar özellikle ardışık olarak sunulduğuna göre, büyük olasılıkla zincirleme öğrenme uygulanacak ve her ardışık birim arasında çağrışım kurulacak. Bundan sonra çağrışımsal öğrenmenin, açık bellek (explicit memory) kapsamında kalıcı bellek izine dönüşmesi yani izlerin sağlamlaşması, izlerin uzun-sürelili bellekte (long-term memory) depolanması ve gerektiğinde geri-çağırılması (retrieval) yani hatırlanması gerekecek (Karakaş, 1997). Beynin bu işlevlerle ilgili başlıca yapısı hippocampus ve hippocampusla ilişkili diğer alanlardır (medial temporal loblar, bazı arabeyin ve limbik sistem yapıları) (HM Karakaş, 2000; Moscovitch ve Winocur, 1992). Ancak hippocampus'un sağladığı bellek, akılda tutmayı içeren türden bir bellektir. Bu bellekte olaylar oluştukları sıra içinde ilişkilendirilir. Hippokampal bellekte olayların yeniden ilişki-

lendirilmesi, zaman ve uzayda yeni şekillerde düzenlenmesi söz konusu değildir. Yaratıcılık, esneklik, doğru tahmin, çok-aşamalı planlar yapıp bunları uygulamaya koymak da şimdiye kadar sayılan sistemler yoluyla gerçekleşemez. Aynı şekilde karmaşık arama stratejileri başlatmak, stratejileri uygulamaya koymak, bilgileri düzenlemek, eşgüdümlemek, yorumlamak, geliştirmek, zamanda ve mekanda düzenlemek, zamansal tahminler yapmak ve koşula bağımlı düşünmek, kısaca 'yönetici işlevler' (executive functions) da öyle. Bütün bu işlevler, evrimsel olarak en üstün haline insan da ulaşmış olan bir beyin sistemini gerektirir. Bu sistemin en kritik ögesi ise frontal loblar, frontolimbik ve kortikohippokampal yapılar ve bağlantılardır (Moscovitch ve Winocur, 1992). Hippokampal bellekten yararlanan, bu 'bellek izleri üzerinde çalışan', yeni ilişkiler kuran, bunları yeniden düzenleyen sistem budur. Bu sistem, sağlıklı insanın 'olmazsa olmaz' özelliği, özü, yani kendilik algısıdır. Damasio'ya (1994) göre insanın özü; nesnelere algılanmasını sağlayan özel duyuşsal alanı, her duyum sırasında faaliyette bulunan somatik-duyuşsal kortikal alanları, bu nesneye tepki verilmesini sağlayan motor korteks alanlarını ve duyuşsal-motor korteks bağlantılarını içerir. Ancak özün varlığı, bir de, nesneyi algılama ve tepki verme eylemi halinde organizmanın imgesini üreten bir üçüncü beyin alanı grubunun etkinliğini gerektirir. Damasio'ya göre bu alanlar talamus ve bazal ganglia'dır. Bütün bunlara göre, insanın en üstün özelliği olan öz de, beyindeki 'süper' bütünleşmenin yani 'bütünleşik nörofizyoloji'nin (integrative neurophysiology) bir sonucudur (Başar ve Karakaş, 1999).

Özetle, beyne seçici olarak dağılmış paralel sistemler bütünleşik olarak çalışır. Beyin yapılarının bütünleşik çalışmasındaki bu ahenk, beyin yapılarının senfonisindeki ortak temadır.

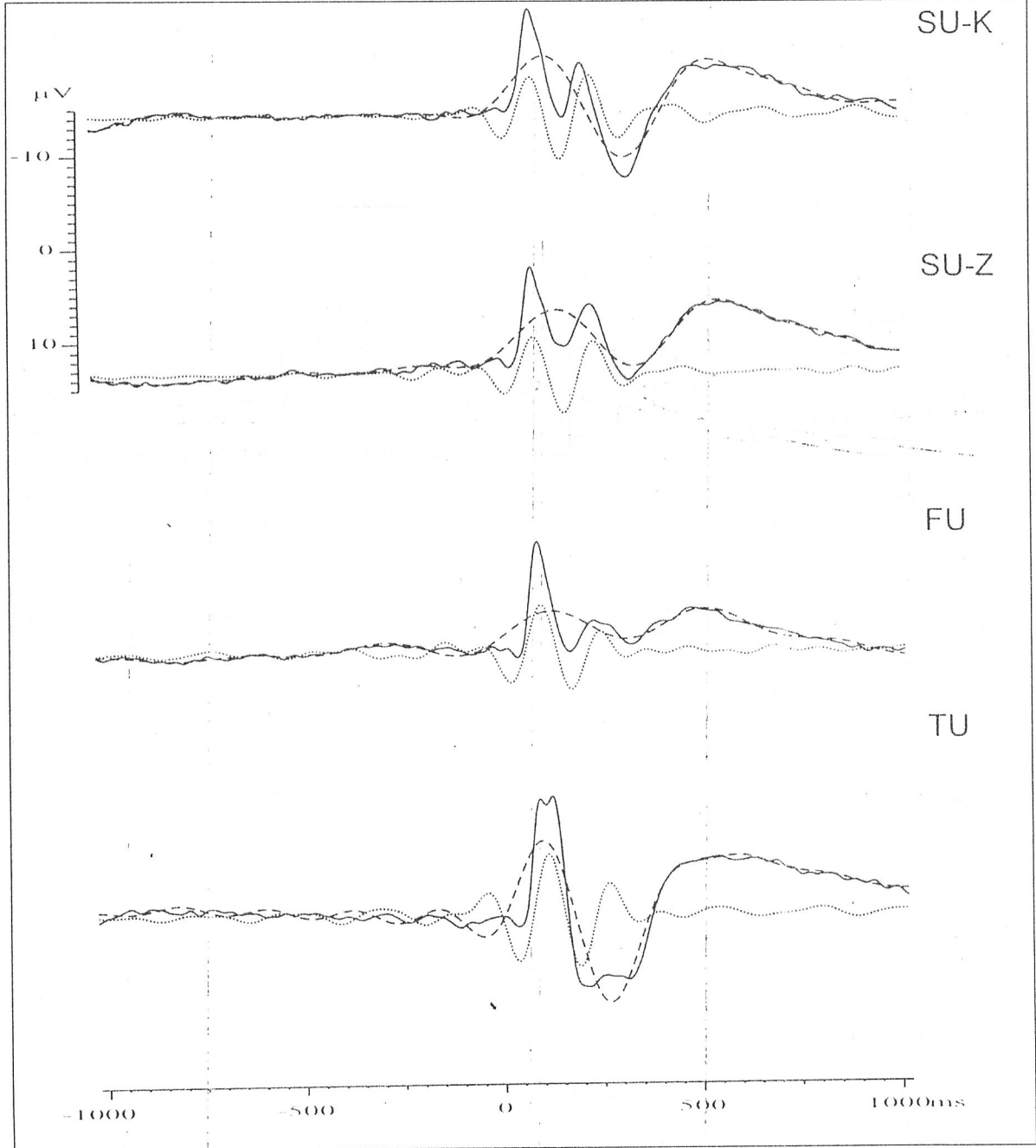
Bütünlüğü içinde etkinlikte bulunan canlıların bilişsel işlevlerini açıklamada bütünleşme, gözardı edilemeyecek bir örgütlenme ölçütüdür. Dilbilimsel benzeşimle salınımların bütünleşmesi, kuramsal olarak sonsuz sayıda kurulabilecek cümlelerdir.

Bilimsel kanıt örnekleri. Güç spektrumu veya çapraz spektral yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplanan koherens fonksiyonları, beyin yapılarının salınımları arasındaki tutarlılığın incelenmesine olanak sağlamıştır. Yapılan çalışmalar, işitsel bir uyarıcının; işitsel yol üzerinde yer alan beyin yapıları arasında, özellikle alfa ve beta bantlarında koherens artışına neden olduğunu göstermiştir (Başar, 1980). Uyanıklıkta uyarıcının yol açtığı bu durum, yavaş dalga uykusunda uyarıcı-öncesinde de ve tüm bantlarda elde edilmiştir (Başar ve diğ. 1975b). Karakaş ve arkadaşları (2000) beyin alanlarının bütünleşik etkinliğini, uyku iğciklerinin (spindle) gözlemlendiği Evre 2'de, işitsel uyarıcılara karşı elde edilen ERP'lerde gözlemiştir. Bu bulgular, uyanıklıkta beyinin seçici ve özelleşmiş çalışma biçimine, buna karşın uykuda seçici olmayan, bütünleşik çalışma biçimine uygundur (Aydın, 2000). Ancak salınımsal nöral topluluklar kuramına göre, bütünleşme, sadece beyin yapıları arasındaki bütünleşmeyi içermez. Bu kuramda bütünleşme, bilişsel işlevlere özgü ERO'ların bütünleşmesini de içerir. Bu ise, her bir bilişsel işlevin farklı bir ERO'lar örüntüsü ile temsil edilmesi anlamına gelir. Bir dizi halinde sunulan iki uyarıcıdan farklı olanla ilgili bir görevin yerine getirildiği seyrek uyarıcı (oddball: OB) paradigmasında, uzun gecikme süresine ve yüksek genliğe sahip delta ile uzun süreli bir teta elde edilmektedir. Buna karşılık dikkatin bir başka uyarıcıya çekildiği farklı uyarıcı (mismatch negativity: MMN) paradigmasında deltanın genliği düşmekte, gecikme süresi kısalmakta, genlik farkı göstermeyen tetanın süresi kısaltılmaktadır. Ancak bu iki bilişsel durum duyuşsal nitelikteki, erken gammada farklılık yaratmamaktadır (Karakaş ve diğ. 2000). Söz konusu çalışmada MMN için elde edilen bu salınımlar örüntüsü, bilgiyi bilinçöncesi işlemenin bir yansıması olarak değerlendirilmiştir. Ancak MMN için verilen yukarıdaki bulgular erken yetişkin deneklerin ERO örüntüsüdür. Buna karşılık geç yetişkin deneklerin ERO örüntüsü belirgin delta ve teta, uzun süreli alfa ve 'endüklenmiş' nitelikte bir gammayı içermektedir (Kafadar ve diğ. 2000). Bu örüntü erken yetiş-

kin deneklerin vijilans hali altında bilgiyi bilinçli olarak işlediklerinde elde edilen örüntüdür. Geç yetişkin deneklerin MMN paradigmasında verilen seyrek uyarıcıyı ayırtmeksizin bu örüntüyü göstermeleri; erken ve geç yetiş-

kinlerin, sadece geç bilgi işleme evreleri açısından değil, erken evreler açısından da farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Salımsal nöral topluluklar kuramına göre,



Şekil 1. Farklı bilişsel paradigmlar altında Fz'den kaydedilmiş olan ERP (düz çizgi) ve filtrelenmiş eğrilerin (delta salınımı: kesikli çizgi; teta salınımı: noktali çizgi) binişik sunumu. Eğriler çoklu-paradigma (SU-K: seyrek uyarıcı-kolay; SU-Z: seyrek uyarıcı-zor; FU: farklı uyarıcı; TU: tek uyarıcı paradigması) altında elde edilmiştir.

bütünleşme bir de, ERP dalgabıçimini oluşturmada ERO'ların bütünleşmesini içerir (Başar ve diğ. 1998). Son yapılan çalışmalarda (Karakaş, Erzenin ve Başar, 2000a ve b); farklı bilişsel paradigmalarda elde edilen N200 ve P300 genliklerinde, deltanın birincil, tetaninsa ikincil katkısı bulunduğu belirlenmiştir. Delta ve teta salınımlarının bütünleşmesi, farklı paradigmalarda, N200 ve P300 genişliğinin %96-99'unu açıklamıştır. Söz konusu çalışma, P300 genişliğinde deltanın, N200 genişliğinde ise tetanın görece katkısının daha büyük olduğunu göstermiştir. Elde edilen bulgular, ERP dalgabıçiminin, ERO'ların zaman eksenini üzerindeki binişmesinin bir sonucu olduğunu göstermiştir. Şekil 1'de de görüldüğü gibi, ERP bileşenleri ERO'daki değişimlerle temsil edilmekte olup bu değişimlerden yordanabilmektedir.

SONUÇ

Salınımsal nöral topluluklar, beyin süreçlerini açıklamak üzere öne sürülmüş olan bir kuramdır. Kuramın dört ana ilkesinden sonuncusu bütünleşmedir. Bu bütünleşme, nöronların nöron topluluklarına bütünleşmesini, beyin yapılarının bütünleşmesini, ERP dalgabıçimini oluşturan ERO'ların bütünleşmesini, bilişsel olaylarda ERO örüntülerini içeren bütünleşmeyi ve nihayet, türlerin bütünleşmesini içermektedir. Kuramın kapsamı, bir yandan da bilim dallarında bütünleşmeyi gerektirmektedir. Zira beyin ve bilişsel süreçler üzerinde etkili ve sonuç alan bilimsel etkinlik çok yönlü kayıt ve analiz tekniklerinin, veri tabanının ve açıklayıcı sistem ve modellerin kullanılmasını gerektirmektedir. Böyle bir bilimsel kapsama ulaşılması ise, temel biyolojik bilimlerden (örn. fizyoloji, anatomi, genetik, biyofizik, biyokimya, fizik, kimya), uygulamalı biyolojik bilimlere (örn. tıp), davranış bilimlerine (örn. psikoloji, psikofizyoloji, nöropsikoloji), teknik dallar (örn. mühendislik dalları, matematik, istatistik) ve nihayet felsefeye kadar uzanan bir bilimler yelpazesinin bütünleşik etkinliğini gerektirmektedir.

Bütün bunlara göre, salınımsal nöral toplu-

luklar kuramı sadece bir açıklama sistemi değildir. Bu kuram aynı zamanda da günümüz bilimine damgasını vurmuş olan çok-disiplinli (multidisciplinary) yaklaşımın ve ekip çalışmasının uygulandığı bir bilimsel etkinlik platformudur. Modern fizik ve öncelikle atom fiziğinde salınım modellerinin önemli bir yeri vardır; salınımlar, maddenin yapısı konusunda bu yüzyılda öne sürülmüş olan çok sayıda kuramın (örn. N. Bohr W. Heisenberg'inkiler) özünü oluşturmuştur. Bütün bunlardan şu sonuç çıkmaktadır: Salınımsal nöral topluluklar kuramının, bilimde çok-disiplinli yaklaşım olarak tanımlanan II. Rönesans'da önemli bir yeri olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aydın H. (2000). Beynin biyokimyasal işlevleri: Nörotransmitterler ve yolakları, psikiyatride kullanılan ilaçlar ve etki yolları. In: Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon ed by S Karakaş, H Aydın, C Erdemir, Ç. Özesmi. Çizgi Tıp Yay. Ankara-2000.
- Başar E. Brain Function and Oscillations: II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes. Springer-Verlag, Heidelberg-1999.
- Başar E. Brain Function and Oscillations: I. Brain Oscillations. Principles and Approaches. Springer-Verlag, Heidelberg- 1998.
- Başar E (Ed. Brain Dynamics: Progress and Perspectives. Springer, New York-1989.
- Başar E. EEG-brain Dynamics: Relation between EEG and Brain Evoked-potentials. Elsevier, Amsterdam-1980.
- Başar E, Başar-Eroğlu C, Demiralp T, Schürmann M. Time and frequency analysis of the brain's distributed gamma-band system. IEEE Engineering in Medicine and Biology-1995; 14: 400-410.
- Başar E, Başar-Eroğlu C, Rösche J, Schütt A. The EEG is a quasideterministic signal anticipating sensory-cognitive tasks. In: Brain Dynamics ed by E Başar, TH Bulloc. Springer, New York-1989.
- Başar E, Demiralp T, Schürmann M, Başar-Eroğlu C. Cross-modality experiments on the cat brain. In: Brain Function and Oscillations: II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes ed by E Başar. Springer-Verlag, Heidelberg-1999.
- Başar E, Gönder A, Özesmi Ç, Ugan P. Dynamics of brain rhythmic and evoked potentials. II. Studies in the auditory pathway, reticular formation and hippocampus during the waking stage. Biological Cybernetics-1975a; 20: 145-160.
- Başar E, Gönder A, Özesmi Ç, Ugan P. Dynamics of bra-

in rhythmic and evoked potentials. II. Studies in the auditory pathway, reticular formation and hippocampus during sleep. *Biological Cybernetics*-1975b; 20: 161-169.

Başar E, Karakaş S. Nörofizyoloji ve kognitif süreçlerde entegratif yaklaşım: Osilasyonel nöral topluluklar kuramı (s. 149-161). In: *Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon* edt by S Karakaş, H Aydın, C Erdemir, Ç Özesmi. Çizgi Tıp Yay. Ankara-2000.

Başar E, Karakaş S. An integrative neurophysiology based on brain oscillations (Ch. 31). In: *Brain Function and Oscillations: II. Integrative Brain Function. Neurophysiology and Cognitive Processes* edt by E Başar. Springer-Verlag, Heidelberg-1999.

Başar E, Karakaş S. Event related oscillations in the brain (Ch. 8). In: *Brain Function and Oscillations: I. Brain Oscillations. Principles and Approaches* edt by E Başar. Springer-Verlag, Heidelberg-1998.

Başar E, Karakaş S, Rahn E, Schürmann M. Major operating rhythms (MOR) control the shape and time course of evoked potentials (Ch. 12). In: *Brain Function and Oscillations: I. Brain Oscillations. Principles and Approaches* edt by E Başar. Springer-Verlag, Heidelberg-1998.

Başar E, Schürmann M, Başar-Eroğlu C, Karakaş S. Alpha oscillations in brain functioning: An integrative theory. *International Journal of Psychophysiology (Special Issue)*-1997a; 26 (1-3): 5-29.

Başar E, Schürmann M, Başar-Eroğlu C, Schütt A, Karakaş S. Gamma oscillations in nervous system: from snails to humans. 3rd European Congress of Psychophysiology. University of Konstanz, FEPS, DGPA, DGPs. Konstanz, Germany-May 1997b

Başar E, Yordanova J, Kolev V, Başar-Eroğlu C. Is the alpha rhythm a control parameter for brain responses. *Biological Cybernetics*-1997c; 76: 471-480.

Başar-Eroğlu C, Başar E. A compound P300-40 Hz response of the cat hippocampus. *International Journal of Neurosciences*-1991; 60: 227-237.

Başar-Eroğlu C, Strüber D, Kruse P, Başar E, Stadler M. Frontal gamma-band enhancement during multistable visual perception. *International Journal of Psychophysiology*-1996; 24: 113-125.

Başar-Eroğlu C, Warecka K, Schürmann M, Başar E. Visual evoked potentials in multiple sclerosis: Frequency-domain analysis shows reduced alpha response. *International Journal of Neurosciences*-1993; 73: 235-258.

Berger H. Über des elektroencephalogram. *Archives Psychiatry Nervenkr*-1929; 87: 527-570.

Bilir E. Beyin elektriksel faaliyetinde nörolojik rahatsızlıklara bağlı değişiklikler. In: *Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon* edt by S Karakaş, H Aydın, C Erdemir, Ç Özesmi. Çizgi Tıp Yay. Ankara-2000.

Damasio AR. *Descartes'in Yanılgısı: Duygu, Akıl ve İnsan Beyni* (Çev. B. Atlamaz). Varlık, İstanbul-1994.

Ellis HC, Hunt RR. *Fundamentals of Cognitive Psychology*. Brown and Benchmark, Oxford-1993.

Ergenç İ. Dilin beyindeki organizasyonu ve konuşmanın

gerçekleşmesi. In: *Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon* edt by S Karakaş, H Aydın, C Erdemir, Ç Özesmi. Çizgi Tıp Yay. Ankara-2000.

Fuster JM. *Memory in the Cerebral Cortex: An Empirical Approach to Neural Networks in the Human and Nonhuman Primate*. The MIT Press, Cambridge (MA)- 1995.

Goldman-Rakic PS. Topography of cognition: parallel distributed networks in primate association cortex. *Annual Review of Neurosciences*-1988; 11: 137-156.

Irak M, Karakaş S, Erzenin ÖU. The effect of divided and focused attention on event-related potentials and oscillations. 10th World Congress of the International Organization of Psychophysiology (IOP), Sydney, Australia- February 2000.

Kafadar H, Karakaş S, Çakmak ED, Kaya G. The effect of age on paradigm- and topography-dependent changes in event-related potentials and oscillations. 10th World Congress of the International Organization of Psychophysiology (IOP), Sydney, Australia- February 2000.

Karakaş HM. Kognitif nöroradyolojik yöntem ve yaklaşımlar. In: *Multidisipliner Yaklaşımla Beyin ve Kognisyon* edt by S Karakaş, H Aydın, C Erdemir, Ç Özesmi. Çizgi Tıp Yay. Ankara-2000.

Karakaş S. Zeka: Ülkemizdeki durum, işlevsel ve yapısal unsurları. In: *Türkiye Zeka Vakfı Yaratıcı Zeka ve Eğitim Sempozyumu Bildirileri*. Ankara: M. Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı-2000.

Karakaş S. A descriptive framework for information processing: An integrative approach. *International Journal of Psychophysiology*-1997; 26: 353-368.

Karakaş S. Psikoloji Bilimi: Temel İlkeler. TBMM Vakfı Tes. Ankara-1988.

Karakaş S, Aydın H, Kafadar H, Çakmak ED, Irak M, Erzenin ÖU, Bekçi B. Auditory information processing during sleep I-4 and REM (pp. 141-146). In: *Brain Machine* edt by U Halıcı, K Leblebicioğlu, V Atalay, E Nalçacı. Middle East Technical University, Ankara-2000.

Karakaş S, Başar E. Early gamma response is sensory in origin. A conclusion based on cross-comparison of results from multiple experimental paradigms. *International Journal of Psychophysiology*-1998; 31(1): 13-31.

Karakaş S, Başar E. High frequency components of human visual evoked potentials. *International Journal of Neuroscience*-1983; 19: 161-172.

Karakaş S, Başar-Eroğlu C, Özesmi Ç, Kafadar H, Erzenin ÖU. Gamma response of the brain: A multifunctional oscillation that represents a bottom-up with top-down processing. *International Journal of Psychophysiology*-2001; 39(2-3): 137-150.

Karakaş S, Çakmak ED, Bekçi B, Irak M. A behavioral phenomenon enlightened through biological methods: Preconscious perception and its electrophysiological correlates. Işık 2000 Workshop on Biomedical Engineering: Proceedings (June 2000). Boğaziçi Univ. Printhouse, İstanbul-2000.

Karakaş S, Erzenin ÖU, Başar E. A new strategy involving multiple cognitive paradigms demonstrates that ERP compo-

nents are determined by the superposition of oscillatory responses. *Clinical Neurophysiology*-2000a; 111: 1719-1732.

Karakaş S, Erzengin ÖU, Başar E. The genesis of human event-related responses explained through the theory of oscillatory neural assemblies. *Neuroscience Letters*-2000b; 285: 45-48.

Klatzky RL. *Human Memory: Structures and Processes*. WH Freeman Co. New York-1980.

Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*-1999; 29: 169-195.

McClelland JL, Rumelhart DE, PDP Research Group (Eds). *Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition (Vol. 2)*. Psychological and Biological Models. MIT Books, Cambridge (MA)- 1986.

Mesulam MM. Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Annals of Neurology*-1990; 28(5): 597-613.

Moscovitch M, Winocur G. The neuropsychology of memory and aging. In: *The Handbook of Aging and Cognition* ed by FIM Craik, T Salthouse. Lawrence Erlbaum, Hillsdale (NJ)- 1992.

Penfield W, Milner B. Memory deficit produced by bilateral lesions in the hippocampal zone. *AMA Archives of Neurological Psychiatry*-1958; 79: 475-497.

Schürmann M, Başar E. Topography of alpha and theta oscillatory responses upon auditory and visual stimulation in humans. *Biological Cybernetics*-1994; 72: 161-174.

Stampfer HG, Başar E. Does frequency analysis lead to better understanding of human event related potentials. *International Journal of Neurosciences*-1985; 26: 181-196.

Yordanova J, Kolev V. A single sweep analysis of the theta frequency band during auditory oddball task. *Psychophysiology*-1998; 35(1): 116-126.