

Anahtar Sözcükler

Anlambilim, semantik, sözcüksel erişim, beyin uyarımı, sinirdilbilim

Keywords

Semantics, lexical access, neuromodulation, neurolinguistics

Kurada, H. Z. (2024). Anlambilim araştırmalarında beyin uyarımı: Yeni bir perspektif. *Dil Dergisi*, 175 (2). 71-91.

ANLAMBİLİM ARAŞTIRMALARINDA BEYİN UYARIMI: YENİ BİR PERSPEKTİF

NEUROMODULATION IN SEMANTIC RESEARCH: A NEW PERSPECTIVE

• Hazel Zeynep KURADA 

Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Medipol Üniversitesi, Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü, hazelkurada@gmail.com

Öz

Transkraniyal manyetik stimülasyon ve transkraniyal doğru akım stimülasyonu gibi beyin uyarım teknikleri, çeşitli dil işleme süreçlerinin beyindeki temsillerini anlamak üzere son yıllarda sıklıkla başvurulan yöntemler olarak ortaya çıkmıştır. Bu derleme çalışması, son yirmi yılda sıklığı giderek artan beyin uyarımı araştırmalarının dilbilimsel sorgulamalardaki rolünü ve semantik işlemler üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Çalışmada beyin uyarımı tekniklerinin sözcüksel erişim, semantik entegrasyon ve kavramsal eşleme gibi semantik süreçler üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Literatür taraması, bu alandaki güncel ve ilgili çalışmaları belirlemek amacıyla, "TMS", "tDCS", "lexical access", "semantic context integration" ve "conceptual mapping" gibi arama terimleri ile PubMed ve Google Scholar gibi veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arama sonuçları, çalışmaların yıllık bazda sınıflandırılması ve konuya özgü içeriklerin incelenmesiyle derlenmiştir. Derlemede beyin uyarımı ile yapılan semantik sisteme ilişkin araştırmalar, semantik işlemede rolü olduğu öne sürülen beynin sol yarıküresindeki frontal, temporal ve parietal alanların yanı sıra, sağ yarıküre ve hatta serebellum gibi bölgelerin bile

Abstract

Neuromodulation techniques, such as transcranial magnetic stimulation (TMS) and transcranial direct current stimulation (tDCS), have emerged as powerful tools for understanding the neural representations of various language processing processes. This review comprehensively examines the role of increasingly frequent neuromodulation research in linguistic inquiries and its effects on semantic processes over the past two decades. The study addresses the impact of neuromodulation techniques on semantic processes including lexical access, semantic context integration, and conceptual mapping. A literature review was conducted using search terms such as "TMS," "tDCS," "lexical access," "semantic context integration," and "conceptual mapping" across databases like PubMed and Google Scholar to identify relevant and current studies in the field. The search results were compiled through annual classification of studies and examination of topic-specific contents. The review reveals that research on semantic systems involving neuromodulation highlights the significant roles of not only the frontal, temporal, and parietal regions in the left hemisphere, but also the right hemisphere and even the cerebellum in semantic processing.

semantik işlemede önemli rolleri olduğunu ortaya koymaktadır. Yanı sıra, beyin uyarımı tekniklerinin dil ve iletişim arasındaki ilişkiyi beyin çeşitli yönleriyle araştırmak için önemli bir araştırma aracı haline geldiği açıkça gözlenmektedir. Gelecek çalışmaların, bu tekniklerin daha geniş bir yelpazede dil işleme süreçlerine olan etkilerini detaylandıracağı öngörülmektedir. Bu derlemenin, bu dinamik ve hızla gelişen beyin uyarımı teknikleri yoluyla dili araştırmak isteyen dilbilimcilere ilham vermesi ve onları teşvik etmesi amaçlanmaktadır.

Additionally, it is evident that neuromodulation techniques have become a crucial research tool for investigating the relationship between language and communication through various aspects of the brain. Future studies are expected to further detail the effects of these techniques on a broader range of language processing processes. This review aims to inspire and encourage linguists to explore language through these dynamic and rapidly evolving neuromodulation techniques.

1. GİRİŞ

Dil, anlamın en önemli taşıyıcısı olarak kabul edilmektedir. Anlambilim/Semantik dilbilimin bir alt dalı olarak, dilin anlamını inceleyen bilim dalıdır ve tümce yapısını inceleyen sözdizimden farklı olarak en temel araştırma konusu, anlamın sözcükler ve tümceler aracılığıyla nasıl iletildiği ve dilin çeşitli fikirleri, düşünceleri ve duyguları ifade etmek için nasıl kullanıldığını araştırmaktır. Anlambilimsel/semantik işleme ise (*semantic processing*) en basit ifadeyle, sözcük, tümce ve kavramların anlamlarını anlama ve bu anlamları çözümlenme ile ilgili zihinsel işlemleri ifade etmektedir. Sözcük anlamının dili üretme ve anlama imkânı sağlayan semantik sistemden geri çağırılması ve erişilmesi gibi bilişsel yönetim süreçlerini içermektedir (Ralph ve diğ., 2017). Bu sistem, dil ve anlama ilgili bilgilerin etkin bir şekilde işlenmesi ve kullanılmasına olanak sağlamakta, bunun için de dilsel ve kavramsal bilgiyi çözümlenmek üzere beyin çeşitli bölgelerinin koordine bir şekilde çalışmasını gerektirmektedir. Kavramsal bilgi (*conceptual knowledge*) olarak da adlandırılan semantik bellek ise, belirli bir zaman veya mekân bağlantısı olmaksızın nesnelere, sözcük anlamları, dünya bilgisi hakkında genel bilgiyi karşılayan bir bilgi deposudur. Burası hem sözcük anlamları hakkında bilgi (leksikal semantik bilgi) hem de dilde kodlanmamış olgusal bilgiyi (dil dışı kavramsal bilgi) kapsamaktadır. Çoğu kuramcı, semantik bellek depoları ile bellek deposunu tarayan ve bağlama uygun bilgiyi seçen semantik bellek geri çağırma mekanizmaları (*semantic memory retrieval mechanism*) arasında bir ayırım yapmaktadır. Kısacası beyindeki semantik işleme süreci, semantik bellek depolarının dış uyaranlar veya içsel geri çağırma mekanizmaları tarafından etkinleştirildiği kapsamlı bir bilişsel süreci ifade etmektedir.

İnsan beyinde semantik işleminin nerelerde gerçekleştiği büyük ölçüde fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) kullanılarak elde edilen bulgulara dayanmaktadır (Pulvermüller ve diğ., 2009; Vigneau ve diğ., 2006, 2011). Alternatif olarak, uyanık cerrahi sırasında doğrudan kortikal uyandırma (*Direct Current Stimulation*) ile intraoperatif dil haritalama teknikleri de semantik işleminin lokalizasyonu hakkında önemli bulgular sunmuştur (Corina ve diğ., 2010; Duffau ve diğ., 2013; Moritz-Gasser ve Duffau, 2013; Ojemann, 2003). Bu çalışmalardan elde edilen bulgularla şekillenmiş görüşe göre beyinde semantik işleminin nöral temsilleri özellikle sol hemisferin lateral, temporal ve frontal bölgelerine dağılmış görünmektedir. Bu bağlamda alanyazında semantik işleme süreçlerinde başat role sahip olduğu gözlenen kortikal yapılar aşağıdaki gibidir;

1. Sol Inferior Frontal Girus (IFG): Broca bölgesi ile ilişkilendirilen bu beyin bölgesinin, dil üretimi ve anlamada kritik bir rol oynadığı bilinmektedir. Semantik bilgilerin bellekten geri çağırılması (*semantic retrieval*), bu bilgilerin birleştirilmesi (*semantic integration*), anlamlı dil üretmede önemli bir rol oynamaktadır (Gorno-Tempini ve diğ., 2004; Price, 2012).

2. Sol Superior Temporal Girus (STG): Temporal lobda bulunan bu bölge, sesli bilgilerin işlenmesinde, özellikle de konuşma seslerinin anlamının tanınmasında kritik bir rol oynamaktadır (Hickok ve Poeppel, 2007).

3. Angular Girus (AG): Parietal, temporal ve oksipital lobların kesişim noktasında bulunan bu bölge, semantik işlemlerin çeşitli yönleriyle ilişkilendirilmiştir. Görsel temsilleri anlamalarıyla ilişkilendirme gibi, duyuşsal bilgiyi semantik bilgiyle entegre etmede önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Seghier, 2013).

4. Ventral Temporal Korteks (VTK): Fusiform girus da dahil olmak üzere bu bölge, görsel ve kavramsal bilgilerin işlenmesi ile ilişkilendirilmiştir. Nesnelere ve kavramları tanıma ve bunları birbiriyle ilişkilendirmede rol oynamaktadır (Binder ve Desai, 2011).

Semantik işlemlerin altında yatan sinirsel sistemler ve belirli kortikal alanların oynadığı rolleri tanımlamak üzere çeşitli kuramsal öneriler ortaya atılmış, uzlaşılabilir yaklaşıma göre temporal lobun ön kısmında, anterior (ön) temporal lobda, dili de içeren büyük bir alan bulunmaktadır, her ne kadar bu alanın dile değin çeşitli rolleri hala tartışılabilir olsa da birçok bilim insanı, burayı “semantik merkezi” (*semantic hub*) olarak tanımlamaktadır (Patterson ve diğerleri, 2007; Jefferies, 2013; Ralph ve diğerleri, 2017; Jackson ve diğerleri, 2018). Bu alan farklı duyuşsal modalitelerden gelen birbiriyle ilişkili bilgilerin bütünleştirilerek tek bir modaliteden bağımsız (*amodal*) kavramların oluşturulduğu bir birleşme bölgesi olarak işlev görmektedir. Söz gelimi köpeklerin canlı olduğu, hayvan kategorisine ait olduğu, yürürken altlarında hareket eden dört adet uzuv olduğu ancak kediden farklı oldukları ve köpek olarak nitelendirildiklerine ilişkin kavramsal dünya bilgimize ait olguları depolayan alan olduğu öne sürülmektedir. Bu açıdan bir sözcüğün anlamına ulaşma ve çözümleme bilişsel açıdan karmaşık ve farklı bileşenlerin eş zamanlı olarak etkinleştiği bir süreçtir. Semantik işleme zihinsel açıdan birkaç aşamadan oluşmaktadır:

a. Sözcüksel Erişim (*lexical retrieval/access*): Kortikal düzeyde sözcüklerin bireysel anlamlarının bellekten çekildiği ilk aşamadır. Bu aşamada, duyuşsal girdiler (işitsel veya görsel) sözcükleri tanımak ve anlamlarına erişmek için dil belleğindeki sözlüksel depoya gönderilmektedir. Söz gelimi, bir kişi işitsel olarak “köpek” sözcüğünü duyduğunda, (akustik analiz ve fonolojik işleme süreçlerinin dışında) bu sözcüğün beyinde depolandığı yere erişim yaşanmakta ve sözcüğün anlamı ve tüm özellikleri etkinleşmektedir (Lewis ve Poeppel, 2014). Sözcüksel bilgiye erişim aslında tematik ve dilbilgisel ilişkilerin kurulduğu *parsing* sistemine de dahildir (Friederici, 2017) ve bu mekanizmanın beyindeki sol temporal lobdaki bölgelerle ilişkili olduğu, özellikle de sol superior temporal girus ve orta temporal girus (MTG) alanlarında gerçekleştiği kabul edilmektedir (Hickok ve Poeppel, 2007). Ancak unutulmamalıdır ki dilbilim alanyazınında semantik işleme kapasitesinin değerlendirilmesinde «saklama» (*storage*) ve «erişim» (*access*) bileşenleri arasında

bir ayırım yapılmıştır (Warrington ve Cipolotti, 1996). Söz gelimi Broca afazili bireylerde, sözcük anlamına ilişkin nöral temsillerin korunmuş olduğu (yani sözcüğün depolandığı kaynak) ancak sözcük anlamına erişimi sağlayan mekanizmaların bozulduğu varsayılmaktadır (Warrington ve Cipolotti, 1996; Mirman ve Britt, 2014). Bu gözlemler de sözcüksel erişimi sağlayan nöral kaynakların baskın olarak sol hemisferde gerçekleştiğinin önemli bir kanıtıdır.

b. Semantik Entegrasyon (*semantic context integration*): Semantik entegrasyon sözcük anlamlarının, tümce düzeyinde birleştirilmesi ve daha geniş bağlamda anlamlı bir bütün oluşturulması sürecini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, sözcüklerin bireysel anlamlarının tümce veya öbek düzeyinde dilbilgisel ve semantik kurallar çerçevesinde bir araya getirilerek tümce bağlamında anlamlı bir bütün oluşturulması sürecini temsil etmektedir (Gorno-Tempini ve diğ., 2004; Price, 2012). Beyinde sol inferior frontal girus, anterior temporal lob (ATL) ve posterior orta temporal girus (pMTG) bölgelerinin bu mekanizmada rol oynadığı öne sürülmüştür (Gorno-Tempini ve diğ., 2004; Price, 2012). Bir sözcüğün semantik entegrasyonu, onun anlamına erişimi, sözcüğe ilişkin leksiko-semantik bilgilerin geri çağırılmasını gerektirmektedir. Davranışsal çalışmalar, leksiko-semantik bilgi erişiminin yazılı veya sözlü bir sözcük tanıdıktan sonra yaklaşık 200 ms içinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur (Marslen-Wilson, 1987; Sereno ve diğ., 2003). Bu nedenle, sözcüksel erişimin nörofizyolojik olarak 200 ms öncesinde ve civarında başlayan daha erken bir süreç olduğu belirtilirken (Pulvermüller, 2001), semantik entegrasyon, 200 ms sonrasında gözlemlenmektedir (Friederici, 2002).

c. Kavramsal Eşleme (*conceptual mapping*): Bu aşama, yeni bilgileri mevcut bilgiyle ilişkilendirerek tutarlı bir kavrayış oluşturmayı içermektedir. Bu adımda, belirli bir kavramın başka bir kavramla nasıl eşleneceği belirlenmektedir. Sözgelimi İngilizce “dog” sözcüğü ile Türkçe “köpek” sözcüğü aynı kavramsal temsile sahiptir, yani her iki sözcük de aynı kavrama işaret etmektedir. Ancak bu eşleme, sadece sözcük anlamını değil, aynı zamanda sözcüğün kullanım bağlamını ve dilbilgisel özelliklerini de dikkate almaktadır (Jackendoff, 1992). Kavramlar ve sözcükler arasındaki eşlemeler, dilin kullanıldığı bağlama göre belirlenmektedir. Bu, bir sözcük anlamının kullanıldığı bağlama ve tümce içindeki diğer sözcüklerle olan ilişkisine göre nasıl değişebileceğini içermektedir. Bu bağlamsal uyum, dilin esnekliğini ve zenginliğini sağlamaktadır (Barsalou, 2008). Kavramsal eşleme ayrıca, farklı kavramsal alanlar arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin nasıl ifade edildiğini de kapsamaktadır. Örneğin, “zaman” kavramının “hareket” kavramıyla nasıl ilişkilendirildiği, birçok dilde metaforik ifadelerle gösterilmektedir (Lakoff ve Johnson, 1980). Bu tür ilişkiler, kavramların nasıl organize edildiğini ve nasıl anlam kazandığını anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu karmaşık işlemlerin nöral mimarisine ilişkin bulgulara göre, angular girus kavramsal bilgilerin işlenmesinde ve farklı duyuşsal bilgilerin semantik bilgiyle entegrasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle görsel ve mekansal bilgilerin dilsel temsillerle nasıl ilişkilendirildiğini

anlamada kritik bir öneme sahiptir (Seghier, 2013). Yanı sıra, ventromedial prefrontal korteksin de kavramsal bilgilerin değerlendirilmesi ve kavramsal entegrasyonunda önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir (Binder ve Desai, 2011).

Sinirdilbilim alanyazınındaki bu bulgular, semantik sistemin kortikal düzeydeki karmaşıklığı ve bu çok düzlemli sistemin beyin çeşitli bölgeleriyle nasıl iş birliği içinde çalıştığını göstermekte ve mevcut bulguların çoğu metnin girişinde de değinildiği üzere, fMRI çalışmalarına dayanmaktadır. Ancak, son yıllarda beyin uyarımı yani nöromodülasyon (*neuromodulation*) teknikleri de bu alanda önemli bir yer edinmiştir. Geleneksel görüntüleme yöntemleri, beyindeki semantik işleme süreçlerinin nöral temsillerini haritalamaya yönelik büyük bir ilerleme sağlamış olsa da bu yöntemler yalnızca korelasyonel verilere dayanmaktadır. Diğer bir deyişle, bu yöntemlerle elde edilen bulgular, belirli beyin bölgelerinin semantik görevlerle ilişkili olduğunu gösterebilir, ancak bu bölgelerin işlevsel rollerini tam olarak ortaya koymaz. Nöromodülasyon teknikleri ise, bu eksikliği gidermede dilbilim çalışmalarına çok önemli bir avantaj sunmaktadır. Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (TMS) ve Transkraniyal Doğru Akım Stimülasyonu (tDCS) gibi girişimsel olmayan nöromodülasyon yöntemleri, belirli beyin bölgelerinin işlevlerini geçici olarak modüle ederek, bu bölgelerin semantik işleme süreçlerindeki rollerini doğrudan test etmeyi mümkün kılmaktadır (Bikson ve diğ., 2016). Bu teknikler dil çalışan araştırmacılara, beyinde belli bir bölge ile belirli bir dil görevi arasında nedensel bir ilişki olup olmadığını ve dil sisteminin işlevsel organizasyonunu daha derinlemesine araştırma fırsatı sunmaktadır. Özellikle son 20 yıldır süregelen nöromodülasyon çalışmaları beyindeki dilin daha önce keşfedilmemiş yönlerini açığa çıkarmış ve yeni araştırma yolları açmıştır. Örneğin, anterior temporal lobun (ATL) semantik bellek merkezi olarak rolünü destekleyen bulgular, nöromodülasyon teknikleri kullanılarak daha kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve daha somut kanıtlarla doğrulanmıştır (Pobric ve diğ., 2010). Bunun yanı sıra, sol inferior frontal girus ve superior temporal girus gibi bölgelerin semantik işleme süreçlerindeki işlevleri, nöromodülasyon çalışmaları ile daha detaylı bir şekilde ele alınmıştır (Devlin ve Watkins, 2007). Bu çerçevede, bu derleme makalesinin amacı, nöromodülasyon tekniklerinin dilbilim alanında nasıl kullanıldığının tanıtılması ve özellikle sözcük, tümce ve kavramsal ilişki kurma düzeylerindeki semantik araştırmalara nasıl katkıda bulunduğunu, bu tekniklerin kullanımıyla elde edilen güncel bulguları ortaya koymaktır. Özellikle, TMS ve tDCS gibi tekniklerin semantik işleme süreçlerinin anlaşılmasına yönelik sağladığı yenilikçi bakış açıları, dilin beyindeki temsilleri ve işlevsel organizasyonunu anlamada nasıl kritik bir rol oynadığını ve gelecekteki dilbilim araştırmalarına olan potansiyel etkileri tartışılmıştır. Metin boyunca kullanılan bazı terimler, yer yer dipnotlar aracılığı ile açıklanarak okuyucuların bu terimleri daha iyi anlamaları amaçlanmıştır.

2. DİLBİLİMDE YENİ BİR ARAŞTIRMA ARACI: BEYİN UYARIMI

Nöromodülasyon yani beyin uyarımı, sinir sisteminin işlevlerini değiştirmek veya düzenlemek amacıyla elektriksel, kimyasal ya da manyetik uyarıcılar kullanarak sinir hücrelerinin aktivitesini modüle etme süreci olarak tanımlanabilir. En yaygın kullanılan nöromodülasyon teknikleri, Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (TMS) ve Transkraniyal Doğru Akım Uyarımıdır (tDCS). TMS, kafatası üzerinde oluşturulan manyetik alan ile korteksi uyarma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan uyarımın frekansına bağlı olarak (1 Hz. veya 5 Hz. ve üstü) belirlenen kortikal alanlarda geçici süreli inhibisyon (nöral baskılama) ya da fasilitasyon (nöral iyileştirme) oluşturulabilmektedir (Rossini ve Rossi, 2007). Sinirbilim araştırmalarında TMS sıklıkla beyinde sanal lezyonlar¹ yaratmak, belirli bir bölgenin işlevsel rolünü belirleyebilmek üzere işlevini geçici olarak bastırmak amacıyla kullanılmaktadır (Pascual-Leone ve diğ., 1999, 2000; Hallett, 2007). tDCS ise benzer şekilde kafa derisi üzerine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla beyni sabit ve düşük akımlarla uyarma işlemidir. Bu teknik ile nöronal aktiviteyi modüle eden iki elektrottan verilen sabit ve düşük yoğunluklu bir akım ile hedeflenen beyin bölgesi uyarılarak, beynin dış kabuğundaki bazı elektriksel aktivitelerinin canlanması (anodal uyarmı) ya da bazı aktivitelerin bastırılması (katodal uyarmı) mümkün olmaktadır (Nitsche ve diğ., 2005). Dilbilim araştırmaları beyin hem belli bir bölgesinin etkinliğinin artırılması yani fasile edilmesi hem de geçici olarak baskılanması yani inhibe edilmesi protokolüyle yapılabilmektedir.

TMS ve tDCS gibi invaziv (girişimsel) olmayan yöntemler, özellikle dil araştırmaları ve dil bozuklukları üzerine yapılan çalışmalara çok önemli katkılar sunmuştur (Pascual-Leone ve diğ., 1994; Nitsche ve Paulus, 2000). TMS kullanılarak belirli beyin bölgelerinin geçici olarak devre dışı bırakılması veya uyarılması, bu bölgelerin dil görevlerinde nasıl bir rol oynadığını araştırma imkânı sunmaktadır (Pascual-Leone ve diğ., 1994). Bu teknikle yapılan çalışmalar, Broca ve Wernicke alanları gibi klasik dil bölgelerinin yanı sıra, daha geniş beyin ağlarının da dil işlemede önemli olduğunu göstermiştir. Bu yönüyle, beyinde spesifik dil işlevlerine ilişkin lokalizasyon² sorgulamaları da bu tekniklerle daha somut bir şekilde ele alınabilmektedir. Söz gelimi Kurada ve diğ. (2021), imgesel dilin bir üyesi olan deyimlerin işlenmesinin beyin hangi yarımküresinde daha baskın olduğunu sorgulamak üzere 17 katılımcının sol dorsolateral prefrontal korteksini (DLPFC) TMS uyarımı ile geçici bir süre baskılamış, sonuçlar beyin sol yarımküresinin sağ tarafa göre deyim işlemede, özellikle de opak deyim işlemede daha baskın olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, saydam deyimlere kıyasla opak deyimlerin işlenmesinde beyin sol

1 Sanal lezyon protokolü beyindeki belirli bölgelerin işlevlerini geçici olarak baskılamak için kullanılan bir yöntemdir. Dilbilim araştırmalarında sıklıkla kullanılan bu yöntem, transkraniyal manyetik uyarmı kullanılarak beyinde belli bir bölgenin işlevini geçici olarak engelleyerek bu bölgenin belirli dil görevlerindeki rolünü incelemeye olanak tanımaktadır.

2 Lokalizasyon, dil işlemeyle ilişkin süreçlerin beyinde belirli bölgelerde (söz gelimi Broca ve Wernicke alanları) gerçekleşmesi fikridir.

yarısındaki nöral kaynaklara daha fazla ihtiyaç duyulduğunu, TMS uyarımı sonrası katılımcılara bilgisayar ortamında sunulan deyimlere verilen artmış tepki süresi ve düşük doğruluk oranlarıyla göstermişlerdir. Diğer yandan, yabancı dil öğrenimi sırasında beynin hangi bölgelerinin aktif hale geldiği ve bu süreçlerin nasıl optimize edilebileceği nöromodülasyon teknikleri ile araştırılan bir diğer konudur (Pandža, 2023). Güncel pek çok çalışmada tDCS'nin dil öğrenme sürecini hızlandırmak ve verimliliğini artırmak için kullanılabileceği önerilmiştir (Flöel ve diğ., 2008; Blagovechtchenski ve diğ., 2019, Borodkin ve diğ., 2022).

Sonuç olarak, nöromodülasyon tekniklerinin dilbilim alanındaki uygulamalı çalışmalar için büyük bir potansiyele sahip olduğu gözlenmektedir. Bu teknikler, dilin beyindeki temsillerini ve çeşitli dil bileşenlerinin işleme mekanizmalarını daha iyi anlamamıza, dil öğrenme süreçlerini kortikal düzeyde modüle etmeye yardımcı olabilmektedir. Bu da dilin beyinde nasıl temsil edildiği ve işlendiği konusunda daha derin bir anlayış geliştirmeye olanak sağlamaktadır.

3. SEMANTİK İŞLEMLEME AŞAMALARINA İLİŞKİN BEYİN UYARIM BULGULARI

Nöromodülasyon tekniklerinin beyin fonksiyonlarını ve bilişsel süreçleri anlamada dilbilim artalanına ne gibi katkılar sunduğuna kısaca değindikten sonra, bu bölümde, sözcüksel erişim, semantik entegrasyon ve kavramsal eşleme gibi semantik işlemler üzerine yapılan TMS ve tDCS çalışmalarının bulguları detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Beyin uyarımı yoluyla yapılan semantik araştırmalarda bu üç kavram özelinde durulmasının nedeni, sözcük, tümce ve bağlam düzeyinde gerçekleşen çalışmaları sentezleyerek genel bir çerçeve oluşturmak amaçlanmıştır. Literatür taraması, bu alandaki en güncel ve ilgili çalışmaları belirlemek amacıyla kapsamlı bir şekilde yapılmıştır. Arama, PubMed ve Google Scholar gibi veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anahtar kelimeler olarak "TMS", "tDCS", "lexical access", "semantic context integration" ve "conceptual mapping" gibi terimler kullanılmıştır. Arama sonuçları, çalışmaların yıllık bazda sınıflandırılması ve konuya özgü içeriklerin incelenmesiyle derlenmiştir. Bu bölümde, bu tekniklerin her bir semantik işlem üzerindeki etkileri güncel literatürdeki bulgular ışığında sunulurken, beyin uyarımı yöntemlerinin semantik araştırmalardaki rolü irdelenecektir.

3.1. Sözcüksel Erişim Sistemine İlişkin Beyin Uyarım Çalışmaları

Kortikal seviyede sözcüksel erişim mekanizmasına ilişkin sinirdilbilim bulguları adlandırma (*naming*) çalışmalarına dayanmakta, adlandırma görevlerinin de beyinde genellikle sol prefrontal ve temporal bölgeleri aktive ettiği gözlenmektedir (Liljestrom ve diğ., 2008; Perani ve diğ., 1999; Shapiro ve diğ., 2006). Dil üzerine yapılan nöromodülasyon çalışmaları için ise ilgili alanyazındaki

fMRI bulguları önemli bir rehber oluşturmaktadır. fMRI kullanılan pek çok nörogörüntüleme çalışması, eylem veya nesnelere adlandırma yetisinin geniş ve karmaşık bir beyin ağı tarafından gerçekleştirildiğini vurgulamaktadır. Adlandırma göreviyle sözcüksel erişim mekanizmasının nöral temellerini araştıran bilinen ilk çalışma Mottaghy ve diğ. (1999) çalışmasıdır. O dönemde henüz yaygınlık kazanmayan beyin uyarımı yöntemi ile *sözcük işleme hızlandırılabilir mi* sorusundan yola çıkılarak, 15 katılımcının o dönemde klasik dil bölgeleri olarak kabul edilen Broca ve Wernicke alanlarına yüksek frekanslı (fasilitatif) TMS uygulanmıştır. Uyarımın hemen ardından katılımcılardan olabildiğince hızlı bir şekilde resimden adlandırma yapmaları istenmiştir. Bulgular TMS ile yalnızca Wernicke alanının nöral etkinliğinin artırıldığı oturumda katılımcıların isimlendirme hızında artış olduğunu ortaya koymuştur. Whitney ve diğ. (2012), bu kez düşük frekans sanal lezyon protokolü benimsemiş, sağlıklı gönüllülerin sol inferior frontal girus, sol posterior orta temporal girus ve intraparietal sulkus alanlarını TMS ile geçici olarak baskılamıştır. Sonuçlar, IFG ve pMTG'nin baskılandığı zaman, semantik bilginin geri çağırılması süreçlerinin kesintiye uğradığını ortaya koymuştur.

Semantik süreçlere ilişkin TMS ile yapılan çalışmaların yanı sıra, tDCS ile de yapılan pek çok çalışma mevcuttur. Fertoni ve diğ. (2010), transkraniyal doğru akım uyarımının dil işleme üzerindeki etkilerini (resim) adlandırma görevlerinde incelemeyi amaçlayarak 24 sağlıklı katılımcının sol dorsolateral prefrontal korteksine anodal, katodal ve sahte³ (sham) tDCS uyarımı yaptıktan sonra iki farklı resim adlandırma deneyi uygulamıştır. Sonuçlar, sol DLPFC'ye uygulanan anodal tDCS'nin adlandırma performansını iyileştirdiğini ve uyarımın sona ermesinin ardından sözel tepki sürelerini hızlandırdığını göstermiştir. Katodal uyarımın etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çalışmada, anodal tDCS'nin sol DLPFC'ye uygulanmasının sözcük erişimi için ayrılmış beyin ağını fasilete ettiği yani kolaylaştırdığı hipotezi öne sürülmüştür. Kolaylaştırmayı sağlayan mekanizmalar henüz tam olarak anlaşılmamış olsa da bu çalışmada sunulan sonuçlar, uyarımın sona ermesinin ötesinde devam eden bir kolaylaştırmayı ve bunun kortikal plastisite mekanizmalarını içerdiğini işaret etmektedir. Bu plastisite mekanizmalarının işleyişle invaziv olmayan bir şekilde etkileşime geçme olanağının, dil çalışmaları ve sinirbilim alanlarında yeni ve umut verici olduğu öne sürülmüştür. Sözcüksel erişimi tDCS ile araştıran bir diğer araştırma olan Weltman ve Lavidor'un (2013) çalışması, Wernicke bölgesi ve sağ homologu⁴

3 Sahte (*sham*) uyarım: genellikle nöromodülasyon çalışmalarında kullanılan bir kontrol yöntemidir. Katılımcıların fark etmeyeceği şekilde gerçek beyin uyarımını taklit etmek ve böylece placebo etkisini kontrol etmek üzere araştırmacıların tDCS veya TMS gibi tekniklerin etkilerini değerlendirmesine yardımcı olmak için kullanılmaktadır. Sahte uyarımın uygulanma şekli, gerçek uyarım prosedürüne benzer şekilde uygulanır. Bu da katılımcının gerçek uyarım aldığını düşünmesini sağlar, ancak aslında beyin üzerinde herhangi bir etkisi olmaz. Sahte uyarım sayesinde, araştırmacılar gerçek uyarımın etkilerini placebo etkisinden ayırt edebilirler.

4 Homolog alan, beyindeki bir bölgenin, diğer yarımkürenin karşılık gelen bölgesiyle benzer işlevsel veya yapısal özelliklere sahip olması durumudur. Örneğin, sol frontal kortekste bulunan bir alanın sağ frontal kortekste tam karşısına denk gelen alandır.

üzerine uygulanan tDCS'nin sözcüksel erişim ve semantik hazırlama⁵ (*semantic priming*) etkisi (*priming*) üzerindeki etkisini değerlendirmek ve temporo-parietal bölgelerin semantik ilişkilerin işlenmesindeki rolünü belirlemeyi amaçlamıştır. Bu araştırmada bu kez bilateral yani iki yönlü beyin uyarımı kullanılmıştır, bu yöntem sol ve sağ temporo-parietal bölgelere aynı anda doğru akım uyarımı uygulanması anlamına gelmektedir. Bu uyarım yöntemi, beynin sağ taraftaki dil bölgelerinde kortikal uyarılabilirliği artırırken⁶ sol bölgelerde azaltma ya da tam tersi (sağı baskılayıp solu etkinleştirme) şeklinde hemisferik baskınlığı kontrol etmeye olanak sağlamaktadır. Çalışmada otuz iki katılımcıya iki yönlü tDCS (sağ anodal/sol katodal veya sol anodal/sağ katodal) uyarımı yapıldıktan sonra bir sözcüksel karar verme görevi (*lexical decision task*) uygulanmıştır. Sonuçlar, sağ tarafa anodal/sol tarafa katodal uyarım yapıldığı oturumlarda sözcüksel işlemede bozulma göstermiştir. Bir diğer deyişle, beynin sol yarımküresinde yer alan Wernicke alanı, tDCS uyarımı ile baskılandığı zaman sözcük anlamına erişim kısıtlanmıştır. Wernicke bölgesi, kelimelerin anlamlarını tanıma ve işleme sürecinde önemli bir rol oynar. Bu bölgenin, sözcüklerin semantik içeriğiyle ilişkili bilgileri depolamak ve bu bilgileri kullanarak anlamlı dil üretimini desteklemek için gerekli olduğu bilinmektedir. Söz gelimi, Wernicke bölgesinin hasarı (wernicke afazisi), kişilerin sözcük anlamına erişmesinde zorluk yaşamasına yol açmaktadır.

Sözcüksel erişim gibi semantik süreçleri iyi anlamak, dil ve biliş arasındaki ilişkiyi ortaya koymak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tDCS ve TMS gibi nöromodülasyon teknikleri, beyin plastisitesi ve dil işleme mekanizmalarını keşfetmek için kullanılacak dikkate değer araçlardır. Nitekim alanyazındaki bu çalışmalar da kortikal seviyede sözcüksel erişim ve semantik işleme mekanizmalarını aydınlatmada TMS ve tDCS gibi nöromodülasyon tekniklerinin önemini ortaya koymaktadır. Bu teknikler, beyindeki dil ağlarının işlevsel özelliklerini daha derinlemesine anlamamızı sağlamakta ve semantik süreçlerin hasar gördüğü dil bozukluklarının tedavisinde de potansiyel klinik uygulamalara kapı aralamaktadır.

5 Semantik işleme araştırmalarında kullanılan en yaygın yöntemlerinden biri semantik hazırlanma (*semantic priming*) paradigmasıdır. Bu yöntemde, anlamsal olarak ilişkili sözcüklerin ardından sunulan hedef sözcükler, anlamsal olarak ilişkili olmayan sözcüklerden sonra sunulan sözcüklere göre daha hızlı bir şekilde işlenmektedir. Bu etkiye "semantik hazırlanma" etkisi denilmektedir. Semantik hazırlanma etkisi, zihinsel sözlükçe hakkında önemli iç görüler sunmakta ve sözcüklere nasıl erişildiğini, sözcüklerin nasıl anlaşıldığını ve tümce anlamında diğer sözcüklerle nasıl bütünleştirildiğini araştırmak için kullanılmaktadır (Neely, 1991).

6 Kortikal uyarılabilirliğin artması genellikle beyindeki sinir hücresi olan nöronların daha kolay aktive olduğunu veya uyarıcılara daha duyarlı hale geldiğini ifade etmektedir. Bu artmış duyarlılık, hedeflenen beyin bölgesinde daha verimli bir işleme yol açabilir. Nöromodülasyon bağlamında, örneğin TMS (transkraniyal manyetik stimülasyon) veya tDCS (transkraniyal doğru akım stimülasyonu) gibi tekniklerle, belirli bir bölgede sinirsel uyarılabilirliğin artırılması, o bölgedeki nöronların ateşleme olasılığını ve ilgili süreçlere katılımını artırarak bilişsel işlevleri geliştirebilir veya sinir yollarını rehabilite edebilir.

3.2 Semantik Entegrasyona İlişkin Beyin Uyarım Çalışmaları

Semantik entegrasyon birden fazla kavramın bir araya getirilerek daha karmaşık anlamların çözümlenmesi olarak tanımlanabilir. Söz gelimi, iki sözcüğün (“kırmızı” ve “araba”) anlamının daha karmaşık bir temsilde (“kırmızı araba”) zihinsel düzeyde birleştirilmesi gibi. Metnin giriş bölümünde değinildiği üzere, semantik entegrasyon için öncelikle sözcük anlamına erişim gerekmektedir (Friederici, 2002). Bu açıdan bakıldığında psikolinguistik modellere göre leksiko-semantik erişimden sonra gelen post-leksikal bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Bir tümcenin anlamını çözümlenebilmek için birden fazla kortikal bölgenin mi gerekli olduğu yoksa tek bir bölgede yer alan birbirinden farklı bileşenlerin mi anlamın çeşitli yönlerini kodlayabildiği sorusu halen tam olarak yanıtlanabilmiş değildir. Semantik bellekten bir sözcüğün anlamına erişip dünyadaki herhangi bir “şey”e atıfta bulunmak, dilin bilişsel yeteneklerimize yaptığı en temel katkılardan biridir (Burge, 1973; Strawson, 1950). Dilin doğasında bulunan üretken yapı, daha önce hiç karşılaşmamış olabileceğimiz ipuçlarını kullanarak kavramlar türetmemizi sağlamaktadır, söz gelimi “çorba içmeye yarayan gereç” ifadesinin hızlıca “kaşık” olarak tanınması gibi. Bu tür türetmeler, birden fazla sözlüksel yapının daha büyük bir yapıya hızlı bir şekilde entegre edilmesine dayanmaktadır. Bu gibi semantik süreçlerin genel olarak posterior temporal lob ve prefrontal ile parietal korteksleri tetiklediği bilinmektedir (Matchin ve Hickok, 2020; Yang ve diğ., 2022; McCarty ve diğ., 2023). Öyle ki, görece yeni sayılan bir meta analiz çalışması (Joyal ve Fecteau, 2016), sağlıklı bireylerde semantik işlemleri incelemek amacıyla tDCS kullanılan 27 makaleyi gözden geçirmiş, tDCS’nin frontal, temporal veya parietal kortikal bölgeler üzerinde uygulandığında semantik işleme süreçlerini etkili bir şekilde modüle edebileceği sonucuna varmışlardır. Ancak söz gelimi, görece yeni bir TMS araştırması ile beyinde dille pek de ilişkilendirilmeyen, adı daha çok hareket kontrolü sağlayan motor işlevlerle anılan serebellumun (beyincik) semantik entegrasyon süreçlerinde de rol aldığı gözlenmiştir. Motor işlevler içinde serebellumun birden fazla sistemden gelen sinyalleri entegre etmede rol oynadığı bilinmektedir. Gatti ve diğ. (2020) çalışmasında serebellumun semantik bellek içindeki entegrasyonda da rol oynayabileceği hipotezini test etmek üzere, katılımcıların bir ad ve bir sıfattan oluşan sözcük çiftlerinin anlamsal olarak ilişkili olup olmadığını (“kırmızı” “elma” çifti ilişkili, “şanslı”, “süt” çifti ilişkisiz koşuldadır) değerlendirmeleri istenmiştir. Bu değerlendirmeler sırasında katılımcıların sağ serebellumlarına süreç-içi transkraniyal manyetik uyarım⁷ (online TMS) uygulanmıştır. Serebelluma uygulanan TMS uyarımının, ilişkili sözcük çiftlerine ilişkin verilen doğru yanıtları

7 TMS protokolleri dil araştırmalarında süreç-içi (online) ve süreç-dışı (offline) olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Süreç-içi TMS beyin uyarımının ilgili deney veya test sırasında anlık olarak yapıldığı ifade edilmektedir. Başka bir deyişle, online TMS genellikle katılımcının aktif bir görev yerine getirdiği anda gerçekleştirilir. Süreç-dışı TMS uyarımı ise ilgili deney/görev öncesinde veya sonrasında uygulanmaktadır. Süreç-içi TMS, görev sırasında sinirsel süreçlerin anlık etkilerini ölçmeyi hedeflerken; süreç-dışı TMS, görev öncesi veya sonrası beyin işlevlerinde uzun vadeli etkileri değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

önemli ölçüde azalttığı gözlenmiş, ancak TMS uyarımı ilişkili olmayan uyarılar üzerinde bir etki yaratmamıştır. Bu sonuçlar, sağ serebellumun anlamsal olarak ilişkili uyarıların işlenmesinde rol oynadığını göstermektedir. Semantik entegrasyonu deyim bağlamında inceleyen Sela ve diğ., (2012) çalışmasında, katılımcılar bilgisayar ekranında semantik benzerlik deneyi yaparken dorsolateral prefrontal kortekslerine tDCS ile farklı günlerde sağ anodal/sol katodal uyarım ya da sol anodal/sağ katodal uyarım yapılmıştır. Uyarım sırasında katılımcılar bilgisayar ekranında öngörülebilir ve öngörülemez deyimler (örneğin, “kick the bucket”, “bite the bullet”) okumuş ve deyimden gelen hedef sözcüğün deyimle ilgili olup olmadığını değerlendirmişlerdir. İlginç bir şekilde, sol DLPC fasilite edildiği zaman (sol anodal ve sağ katodal olan oturumda) katılımcıların doğruluk oranlarının, sağ DLPC'nin uyarıldığı oturuma göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Price ve diğ. (2016) benzer bir tDCS çalışmasında, katılımcıların sol angular giruslarına uygulanan anodal tDCS uyarımının anlamsız sözcük kombinasyonlarına (örn. “hızlı böğürtlen”) kıyasla, anlamlı sözcük kombinasyonlarına (örn. “minik turp”) verilen yanıt sürelerinde ciddi bir hızlanma sağladığını gözlemiştir. Ancak sağ angular giruslarına uygulanan anodal tDCS ise anlamsız sözcük kombinasyonlarına verilen tepki sürelerini hızlandırmıştır. Benzer bir çalışmada, Salvi ve diğ. (2020), katılımcıların sağ anterior temporal lobuna uygulanan anodal tDCS'nin, aralarında uzak ilişki bulunan sözcükleri ilişkilendirme (örneğin: çam, yengeç, sos) görevinde katılımcıların performanslarının önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. Bu üç tDCS çalışmasının sonuçları, zayıf ilişkili semantik bilgileri birleştirerek tutarlı bir anlam aktif hale getirmede sağ beyin yarımküresinin kritik rolünü kanıtlayan nedensel kanıtlar sunmaktadır. Bu üç tDCS çalışmasının sonuçları, zayıf ilişkili semantik bilgileri birleştirerek tutarlı bir anlam oluşturmada sağ beyin yarımküresinin de kritik rolü olduğunu ortaya koyan nedensel kanıtlar sunmaktadır. İşte bu noktada nöromodülasyon araştırmaları, dil işlevlerinin ağırlıklı olarak beyin sol tarafında yer aldığına dair klasik görüşlerin ötesine geçilmesini sağlamaktadır. Geleneksel anlayışa göre, dil işlevleri genellikle sol beyin yarımküresinde konumlandırılmışken, bu yeni bulgular sağ beyin yarımküresinin de önemli bir rol oynadığını ve dil işleme süreçlerine önemli bir katkıda bulunduğunu göstermektedir. Böylece, dilin nörobiyolojik temellerine ilişkin daha kapsamlı bir anlayış geliştirilmekte ve sağ beyin yarımküresinin dil işlevlerindeki rolü daha iyi anlaşılmaktadır.

3.3 Kavramsal Eşlemeye İlişkin Beyin Uyarım Çalışmaları

Kavramsal eşleme, bilgilerin kavramsal ağlar aracılığıyla düzenlenmesi ve anlamlı bir şekilde ilişkilendirilmesi sürecidir (Lakoff ve Johnson, 1980). Dili algılamadan sorumlu nöral kaynaklar ve beyin bağlantılarını anlamak amacıyla hem hasta gruplarıyla hem de sağlıklı gönüllülerle yapılan

yarıküredeki posterior superior temporal sulcus (pSTS) alanına yapılan rTMS uyarımının yeni metaforların işlenmesini bozduğunu, ancak uzlaşımsal metaforların işlenmesinin halen korunduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla beraber sol yarıküredeki inferior frontal girusa yapılan rTMS uyarımının ise düz anlamlı sözcük çiftleri ve uzlaşımsal metaforların işlenmesini bozduğu, yeni metaforların işlenmesinin ise korunduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, araştırmada beynin sağ yarıküresinin yeni metaforların işlenmesinde kritik rol oynadığı öne sürülmüştür. Yeni metaforik anlamın çözümlenmesinde sağ yarıkürenin daha kritik rol oynadığı savı fMRI araştırmaları tarafından da desteklenmiştir (Mashal ve diğ., 2005, 2007; Schmidt ve diğ., 2007; ayrıca bkz. Bohrn ve diğ., 2012). Hauser ve diğ., (2016), bu kez ventrolateral prefrontal korteksin (VLPFC) deyim işleme ile ilişkisi ve ayrıca deyim bilinirliğinin VLPFC ile olan ilişkisi üzerine yoğunlaşmış, VLPFC alanının düşük bilinirlikteki deyimlerin işlenmesinde kritik önemde olduğu belirlenmiştir. Yukarıda bahsedilen beyin uyarımı çalışmalarına göre, beyindeki iki kortikal alan —frontal ve temporal bölgeler— imgesel anlamın işlenmesinde doğrudan rol oynamaktadır. İmgesel bir ifade ile karşılaşıldığında, frontal bölgede ilk olarak dilsel ifadenin dilbilimsel analizi yapılmakta ve ayrıca hem düz anlam hem de imgesel anlamın etkinleştiği gözlemlenmektedir. Bu aşamada, bilişsel yanıt olarak imgesel ve düz anlamlardan doğru olanının seçilmesi, yanlış olanının ise baskılanması işlemi gerekmektedir. Bu içsel yanıtların, kavramsal eşleme denetiminin de prefrontal kortekste bulunan yürütücü işlevlerin kontrolünde olduğu gözlenmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

1970'lerin sonlarına ve 1980'lerin başlarına kadar canlı bir beyni incelemek mümkün değilken, teknolojinin eş zamanlı gelişimi ve çeşitli beyin görüntüleme tekniklerinin ortaya çıkmasıyla canlı bir beyindeki dil davranışı ile beyin arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek artık olanaklı hale gelmiştir. Bu noktadan sonra dil ve beyin alanyazınında 19. yüzyılda başlayan ve klasik Broca-Wernicke modelinin çıktısı olduğu bu uzun dönem artık yerini “beyin yüzyılı” olarak adlandırılan bir çağa bırakmıştır. Nörogörüntüleme yöntemlerindeki gelişmeler dilbilimde de yeni ve çok önemli ilerlemelere ve psikolinguistik kuramlaştırmalara yol açmış, Broca bölgesinin dil üretiminden, Wernicke bölgesinin ise anlamadan sorumlu olduğunu savlayan klasik bilişsel modelin, nörogörüntüleme teknikleriyle yeniden gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu derleme çalışmasında ise son 20 yıldır sıklığı giderek artan nöromodülasyon araştırmalarının dilbilimsel sorgulamalardaki rolü ve semantik işlemler özelindeki etkilerinin ele alınması, beyin uyarımının dil işleme süreçlerini anlamak üzere nasıl etkili bir araştırma aracı olduğunun ortaya konulması hedeflenmiştir. Özellikle TMS ve tDCS gibi nöromodülasyon yöntemlerinin dilbilim

araştırmalarında nasıl kullanıldığı, sözcüksel erişim, semantik entegrasyon ve kavramsal eşleme süreçlerinde elde edilen bulgular üzerinden tartışılmıştır.

Bu derleme yazısında dilin nörobiyolojik temellerine dair var olan bilgi birikimine katkıda bulunmak ve nöromodülasyon tekniklerinin bu alandaki araştırmalara nasıl yeni bakış açıları sunduğunu ortaya koymak amaçlanmıştır. Nitekim, bu teknikler ile semantik işlemede rolü olduğu öne sürülen beyin bölgelerinin işlevlerinin nedensel olarak test edilebilmesi mümkün hale gelmiştir. Çalışmada gösterildiği üzere, TMS ve tDCS yöntemleri, beyin işlevsel organizasyonunu anlamada önemli bir araç olarak kullanılmakta ve dilin sinirsel temsillerine ilişkin bilgileri derinleştirmektedir. Beyin uyarımı ile yapılan semantik sisteme ilişkin araştırmalar, semantik işlemede rolü olduğu öne sürülen beyin sol yarıküresindeki frontal, temporal ve parietal alanların yanı sıra, sağ yarıküre ve hatta serebellum gibi bölgelerin bile semantik işlemede önemli rolleri olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak derlemede ortaya çıkan bir başka gözlem, bu alanda halen daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu; özellikle araştırma amaçlı nöromodülasyon çalışmalarının sayısının terapötik çalışmalara kıyasla oldukça sınırlı olduğudur. Bu sınırlılık, dilin işleme süreçlerine dair daha geniş bir perspektif elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu açıdan, dilbilim alanında beyin uyarımı tekniklerinin daha yaygın kullanımı, dilin beyindeki işlevsel organizasyonunun daha iyi anlaşılmasına ve bu bilgilerin hem klinik hem de uygulamalı dilbilim çalışmalarına entegrasyonuna olanak tanıyacaktır. Bu derlemede bahsi geçmeyen ancak özellikle uluslararası alanyazında yoğunlukla çalışılan sözcük tanıma ve okuma süreçlerine ilişkin araştırmalar (detaylı derleme için bkz. Arrington ve diğ., 2023), yazma bozuklukları (disgrafi) (Moslemi ve diğ., 2022), afazi gibi dil bozukluklarında sözcüksel erişimin rehabilite edilmesi (detaylı derleme için bkz. Spigarelli, 2024), konuşma ve akıcılık bozuklukları (kekemelik) (Bakhtiar ve diğ., 2024), ikinci dil öğrenimi (Pandža, 2023) ve ikidillilik (Timofeeva ve diğ., 2024) gibi konularda kapsamlı daha pek çok dilbilimsel çalışma beyin uyarımı yöntemleriyle yapılmaktadır. Yanı sıra, zihinsel süreçlerin, dil kullanımının ve anlam oluşturma bedensel deneyimlerle ve duyuşal-motor sistemlerle ayrılmaz bir şekilde bağlantılı olduğunu öne süren bedenlenmiş biliş üzerine de çeşitli araştırmalar mevcuttur (Kurada ve diğ., 2024; Ntemou ve diğ., 2024) Sonuç olarak, bu yöntemler, dil ve iletişim arasındaki ilişkiyi beyin çeşitli yönleriyle ele alan, beyin dili nasıl ürettiğini ve anladığını inceleyen, dilin nörofizyolojisine ilişkin bulguları sunarken de nörolojik/nörofizyolojik teoriler (beynin nasıl yapılandırıldığı ve nasıl çalıştığı) ile dilbilimsel teoriyi (dil nasıl yapılandırıldığı ve nasıl çalıştığı) birleştirmeyi hedefleyen bir bilim alanı olan sinirdilbilim alanı için önemli bir fırsattır. Gelecek çalışmaların, nöromodülasyon tekniklerinin dilin öğrenme ve işleme süreçlerine olan etkilerini farklı dilsel bağlamlarda daha ayrıntılı bir şekilde araştırması ve dil bozukluklarının tedavisi için yeni yollar açması beklenmektedir. Sonuç olarak, bu derleme, dilbilimcileri ve araştırmacıları, nöromodülasyon

yöntemlerinin sunduğu yeni olanakları değerlendirmeye teşvik etmeyi ve bu yöntemleri kendi araştırma alanlarına entegre ederek dilbilimsel sorgulamalara yenilikçi yaklaşımlar geliştirmeye yönlendirmeyi amaçlamaktadır.

ETİK BEYAN

Bu makalenin yazarı, çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni gerektirmediğini beyan etmektedir.

KAYNAKÇA

- Arrington, C. N., Ossowski, A. E., Baig, H., Persichetti, E., & Morris, R. (2023). The impact of transcranial magnetic stimulation on reading processes: A systematic review. *Neuropsychology review*, 33(1), 255-277.
- Bakhtiar, M., Yeung, T. W. Y., & Choi, A. (2024). The application of neuronavigated rTMS of the supplementary motor area and rhythmic speech training for stuttering intervention. *International Journal of Language & Communication Disorders*.
- Barsalou, L. W., Santos, A., Simmons, W. K., & Wilson, C. D. (2008). Language and simulation in conceptual processing. *Symbols, embodiment, and meaning*, 245–283.
- Bikson, M., Grossman, P., Thomas, C., Zannou, A. L., Jiang, J., Adnan, T., ... & Woods, A. J. (2016). Safety of transcranial direct current stimulation: evidence based update 2016. *Brain stimulation*, 9(5), 641–661.
- Binder, J. R., & Desai, R. H. (2011). The neurobiology of semantic memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(11), 527–536.
- Blagovechtchenski, E., Gnedykh, D., Kurmakaeva, D., Mkrtychian, N., Kostromina, S., & Shtyrov, Y. (2019). Transcranial direct current stimulation (tDCS) of Wernicke's and Broca's areas in studies of language learning and word acquisition. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (149), e59159.
- Bohrn, I. C., Altmann, U., & Jacobs, A. M. (2012). Looking at the brains behind figurative language—A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies on metaphor, idiom, and irony processing. *Neuropsychologia*, 50(11), 2669–2683.
- Borodkin, K., Gassner, T., Ershaid, H., & Amir, N. (2022). tDCS modulates speech perception and production in second language learners. *Scientific Reports*, 12(1), 16212.
- Burge, T. (1973). Reference and proper names. *Journal of Philosophy*, 70(14), 425–439.

- Corina, D. P., Loudermilk, B. C., Detwiler, L., Martin, R. F., Brinkley, J. F., & Ojemann, G. (2010). Analysis of naming errors during cortical stimulation mapping: implications for models of language representation. *Brain and language*, *115*(2), 101–112.
- Devlin, J. T., & Watkins, K. E. (2007). Stimulating language: insights from TMS. *Brain*, *130*(3), 610–622.
- Duffau, H., Herbet, G., & Moritz-Gasser, S. (2013). Toward a pluri-component, multimodal, and dynamic organization of the ventral semantic stream in humans: lessons from stimulation mapping in awake patients. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *7*, 44.
- Fertonani, A., Rosini, S., Cotelli, M., Rossini, P. M., & Miniussi, C. (2010). Naming facilitation induced by transcranial direct current stimulation. *Behavioural brain research*, *208*(2), 311–318.
- Flöel, A., Rösser, N., Michka, O., Knecht, S., & Breitenstein, C. (2008). Noninvasive brain stimulation improves language learning. *Journal of cognitive neuroscience*, *20*(8), 1415–1422.
- Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in cognitive sciences*, *6*(2), 78–84.
- Gatti, D., Van Vugt, F., & Vecchi, T. (2020). A causal role for the cerebellum in semantic integration: a transcranial magnetic stimulation study. *Scientific Reports*, *10*(1), 18139.
- Gorno-Tempini, M. L., Dronkers, N. F., Rankin, K. P., Ogar, J. M., Phengrasamy, L., Rosen, H. J., ... & Miller, B. L. (2004). Cognition and anatomy in three variants of primary progressive aphasia. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, *55*(3), 335–346.
- Gorno-Tempini, M. L., Murray, R. C., Rankin, K. P., Weiner, M. W., & Miller, B. L. (2004). Clinical, cognitive and anatomical evolution from nonfluent progressive aphasia to corticobasal syndrome: a case report. *Neurocase*, *10*(6), 426–436.
- Hallett, M. (2007). Transcranial magnetic stimulation: a primer. *Neuron*, *55*(2), 187–199.
- Häuser, K. I., Titone, D. A., & Baum, S. R. (2016). The role of the ventro-lateral prefrontal cortex in idiom comprehension: An rTMS study. *Neuropsychologia*, *91*, 360–370.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*(5), 393–402.
- Jackendoff, R. S. (1992). *Semantic structures* (Vol. 18). MIT press.
- Joyal, M., & Fecteau, S. (2016). Transcranial direct current stimulation effects on semantic processing in healthy individuals. *Brain Stimulation*, *9*(5), 682–691.
- Kana, R. K., Murdaugh, D. L., Wolfe, K. R., & Kumar, S. L. (2012). Brain responses mediating idiom comprehension: Gender and hemispheric differences. *Brain research*, *1467*, 18–26.

- Kurada, H. Z., Arica-Akkök, E., Özyayın-Aksun, Z., Şener, H. Ö., & Lavidor, M. (2021). The impact of transparency on hemispheric lateralization of idiom comprehension: An rTMS study. *Neuropsychologia*, 163, 108062.
- Kurada, H. Z., Jimenez-Bravo, M., Giacobbe, C., & Obeso, I. (in press). Context, Transparency and Culture in Motor Resonance Phenomena: Causal Evidence of the Motor Cortex. *Cortex*.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press.
- Lewis, G., & Poeppel, D. (2014). The role of visual representations during the lexical access of spoken words. *Brain and language*, 134, 1–10.
- Liljeström, M., Tarkiainen, A., Parviainen, T., Kujala, J., Numminen, J., Hiltunen, J., ... & Salmelin, R. (2008). Perceiving and naming actions and objects. *Neuroimage*, 41(3), 1132–1141.
- Marslen-Wilson, W. D. (1987). Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition*, 25(1-2), 71–102.
- Mashal, N., & Kasirer, A. (2012). The relationship between visual metaphor comprehension and recognition of similarities in children with learning disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 33(6), 1741–1748.
- Mashal, N., Faust, M., & Hendler, T. (2005). The role of the right hemisphere in processing nonsalient metaphorical meanings: Application of principal components analysis to fMRI data. *Neuropsychologia*, 43(14), 2084–2100.
- Mashal, N., Faust, M., Hendler, T., & Jung-Beeman, M. (2007). An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain and language*, 100(2), 115–126.
- Matchin, W., & Hickok, G. (2020). The cortical organization of syntax. *Cerebral Cortex*, 30(3), 1481–1498.
- McCarty, M. J., ve diğ. (2023). Intraoperative cortical localization of music and language reveals signatures of structural complexity in posterior temporal cortex. *iScience*, 26, 107223.
- Mirman, D., & Britt, A. E. (2014). What we talk about when we talk about access deficits. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634), 20120388.
- Moritz-Gasser, S., & Duffau, H. (2013). The anatomo-functional connectivity of word repetition: insights provided by awake brain tumor surgery. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 405.
- Moslemi, B., Chalabianloo, G., & Tabatabaei, M. (2022). The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Visual-Auditory Working Memory and Attention in Students with Dysgraphia. *Journal of Exceptional Children*, 22(3), 99–110.

- Mottaghy, F. M., Hungs, M., Brugmann, M., Sparing, R., Boroojerdi, B., Foltys, H., & Topper, R. (1999). Facilitation of picture naming after repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neurology*, *53*(8), 1806–1806.
- Nitsche, M. A., Seeber, A., Frommann, K., Klein, C. C., Rochford, C., Nitsche, M. S., ... & Tergau, F. (2005). Modulating parameters of excitability during and after transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. *The Journal of physiology*, *568*(1), 291–303.
- Ntemou, E., Svaldi, C., Jonkers, R., Picht, T., & Rofes, A. (2023). Verb and sentence processing with TMS: a systematic review and meta-analysis. *Cortex*, *162*, 38–55.
- Ojemann, G. A. (2003). The neurobiology of language and verbal memory: observations from awake neurosurgery. *International Journal of Psychophysiology*, *48*(2), 141–146.
- Orthonoy, A. J. L. (1993). Metaphor, language, and thought. In A. Orthonoy (Ed.), *Metaphor and thought* (pp. 1–16). New York, NY: Cambridge University Press.
- Pandža, N. B. (2023). Using non-invasive brain stimulation to investigate second language. *The Routledge Handbook of Second Language Acquisition and Neurolinguistics*, 7–84.
- Papagno, C., Oliveri, M., & Romero, L. (2002). Neural correlates of idiom comprehension. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*.
- Pascual-Leone, A. (1999). Transcranial magnetic stimulation: studying the brain-behaviour relationship by induction of ‘virtual lesions’. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *354*(1387), 1229–1238.
- Pascual-Leone, A., Valls-Solé, J., Wassermann, E. M., & Hallett, M. (1994). Responses to rapid-rate transcranial magnetic stimulation of the human motor cortex. *Brain*, *117*(4), 847–858.
- Pascual-Leone, A., Walsh, V., & Rothwell, J. (2000). Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience—virtual lesion, chronometry, and functional connectivity. *Current opinion in neurobiology*, *10*(2), 232–237.
- Perani, D., Cappa, S. F., Schnur, T., Tettamanti, M., Collina, S., Rosa, M. M., & others. (1999). The neural correlates of verb and noun processing: A PET study. *Brain*, *122*(12), 2337–2344.
- Pobric, G., Jefferies, E., & Ralph, M. A. L. (2010). Amodal semantic representations depend on both anterior temporal lobes: evidence from repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia*, *48*(5), 1336–1342.
- Pobric, G., Mashal, N., Faust, M., & Lavidor, M. (2008). The role of the right cerebral hemisphere in processing novel metaphoric expressions: a transcranial magnetic stimulation study. *Journal of cognitive neuroscience*, *20*(1), 170–181.

- Price, A. R., Peelle, J. E., Bonner, M. F., Grossman, M., & Hamilton, R. H. (2016). Causal evidence for a mechanism of semantic integration in the angular gyrus as revealed by high-definition transcranial direct current stimulation. *Journal of Neuroscience*, *36*(13), 3829–3838.
- Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, *62*(2), 816–847.
- Pulvermüller, F., Kherif, F., Hauk, O., Mohr, B., & Nimmo-Smith, I. (2009). Distributed cell assemblies for general lexical and category-specific semantic processing as revealed by fMRI cluster analysis. *Human brain mapping*, *30*(12), 3837–3850.
- Ralph, M. A. L., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature reviews neuroscience*, *18*(1), 42–55.
- Regel, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2011). Isn't it ironic? An electrophysiological exploration of figurative language processing. *Journal of cognitive neuroscience*, *23*(2), 277–293.
- Rizzo, S., Sandrini, M., & Papagno, C. (2007). The dorsolateral prefrontal cortex in idiom interpretation: An rTMS study. *Brain research bulletin*, *71*(5), 523–528.
- Rossini, P. M., & Rossi, S. (2007). Transcranial magnetic stimulation: diagnostic, therapeutic, and research potential. *Neurology*, *68*(7), 484–488.
- Salvi, C., Beeman, M., Bikson, M., McKinley, R., & Grafman, J. (2020). TDCS to the right anterior temporal lobe facilitates insight problem-solving. *Scientific reports*, *10*(1), 946.
- Schmidt, G. L., DeBuse, C. J., & Seger, C. A. (2007). Right hemisphere metaphor processing? Characterizing the lateralization of semantic processes. *Brain and language*, *100*(2), 127–141.
- Schneider, S., Wagels, L., Haeussinger, F. B., Fallgatter, A. J., Ehlis, A. C., & Rapp, A. M. (2015). Haemodynamic and electrophysiological markers of pragmatic language comprehension in schizophrenia. *The World Journal of Biological Psychiatry*, *16*(6), 398–410.
- Seghier, M. L. (2013). The angular gyrus: multiple functions and multiple subdivisions. *The Neuroscientist*, *19*(1), 43–61.
- Sela, T., Ivry, R. B., & Lavidor, M. (2012). Prefrontal control during a semantic decision task that involves idiom comprehension: a transcranial direct current stimulation study. *Neuropsychologia*, *50*(9), 2271–2280.
- Sereno, S. C., & Rayner, K. (2003). Measuring word recognition in reading: eye movements and event-related potentials. *Trends in cognitive sciences*, *7*(11), 489–493.

- Shapiro, K. A., Moo, L. R., & Caramazza, A. (2006). Cortical signatures of noun and verb production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(6), 1644–1649.
- Spigarelli, M., Lalancette, A., Massé-Alarie, H., & Wilson, M. A. (2024). Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation for Action Naming in Aphasia Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Sciences*, 14(7), 665.
- Strawson, P. F. (1950). On referring. *Mind*, 59(235), 320–344.
- Timofeeva, P., Finisguerra, A., D’Argenio, G., García, A. M., Carreiras, M., Quiñones, I., & Amoruso, L. (2024). Switching off: disruptive TMS reveals distinct contributions of the posterior middle temporal gyrus and angular gyrus to bilingual speech production. *Cerebral Cortex*, 34(5), bhae188.
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Hervé, P. Y., Duffau, H., Crivello, F., Houde, O., ... & Tzourio-Mazoyer, N. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. *Neuroimage*, 30(4), 1414–1432.
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Hervé, P. Y., Jobard, G., Petit, L., Crivello, F., ... & Tzourio-Mazoyer, N. (2011). What is right-hemisphere contribution to phonological, lexico-semantic, and sentence processing?: Insights from a meta-analysis. *Neuroimage*, 54(1), 577–593.
- Warrington, E. K., & Cipolotti, L. (1996). Word comprehension: The distinction between refractory and storage impairments. *Brain*, 119(2), 611–625.
- Weltman, K., & Lavidor, M. (2013). Modulating lexical and semantic processing by transcranial direct current stimulation. *Experimental brain research*, 226, 121–135.
- Whitney, C., Kirk, M., O’Sullivan, J., Lambon Ralph, M. A., & Jefferies, E. (2012). Executive semantic processing is underpinned by a large-scale neural network: Revealing the contribution of left prefrontal, posterior temporal, and parietal cortex to controlled retrieval and selection using TMS. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(1), 133–147.
- Yang, Y. H., Huang, T. R., & Yeh, S. L. (2022). Role of visual awareness on semantic integration of sequentially presented words: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 164, 105916.