



10.33537/sobild.16.2.1726135

Makale Bilgisi

Gönderildiği tarih: 24.06.2025
Kabul edildiği tarih: 07.07.2025

Article Info

Date submitted: 24.06.2025
Date accepted: 07.07.2025

SÖZCÜĞÜN SESBİLİMSEL, ANLAMBİLİMSEL VE SÖZDİZİMSEL İŞLEMLERİNİN KORTİKAL GÖRÜNÜMÜ: NÖROGÖRÜNTÜLEME BULGULARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

THE CORTICAL REPRESENTATION OF PHONOLOGICAL, SEMANTIC, AND SYNTACTIC PROCESSING OF WORDS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF NEUROIMAGING FINDINGS

Derya DEBBAĞ ERGİN

Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yabancı Dil Öğretimi
deryaergin@hotmail.com

Anahtar sözcükler

iMRG; PET; Sözcüksel işleme;
Sinirdilbilim; Kortikal
Lokalizasyon.

Keywords

fMRI; PET; Lexical Processing;
Neurolinguistics; Cortical
Localization.

Öz

Bu sistematik derleme, dilin temel bileşenleri olan sesbilimsel, anlambilimsel ve sözdizimsel sözcük işlemenin kortikal karşılıklarını incelemektedir. PRISMA yönergelerine uygun olarak yürütülen alanyazını taraması sonucunda, PET ve iMRG yöntemlerini kullanan 1988-1999 yılları arasında yayımlanmış toplam dokuz öncü çalışma seçilmiştir. Çalışmalar, her bir dilsel işlemin ilişkili olduğu beyin bölgelerini belirlemek amacıyla içerik analiziyle değerlendirilmiştir. Bulgular, sesbilgisel işlemlerin ağırlıklı olarak sol süperiyör temporal girüs, planum temporale, supramarjinal girüs ve Broka alanını etkinleştirdiğini göstermektedir. Anlamsal işleme sol inferiyör frontal girüs, orta ve alt temporal girüsler, angüler girüs ve anterior temporal lob dahil olmak üzere yaygın bir sinirsel ağı kapsamaktadır. Sözdizimsel işleme ise öncelikli olarak sol inferiyör frontal girüs (özellikle Broka alanı) ve posteriyör temporal bölgelerle ilişkilidir. Sonuçlar, her bir dilsel bileşen için hem özgül hem de örtüşen sinirsel yapıları işaret etmekte; dil işlevlerinin beyindeki karmaşık ve bütünleşik doğasını ortaya koymaktadır. Bu derleme, dilin sinirsel altyapısına dair kapsamlı bir anlayışa katkı sağlayarak gelecekteki nörodilbilim araştırmaları için bir temel oluşturacaktır.

Abstract

This systematic review examines the cortical correlates of phonological, semantic, and syntactic word processing—three fundamental components of language. Following the PRISMA guidelines, a literature search was conducted, resulting in the selection of nine pioneering studies published between 1988 and 1999 that utilized PET and fMRI methods. The studies were evaluated using content analysis to identify the brain regions associated with each type of linguistic processing. Findings indicate that phonological processing predominantly activates the left superior temporal gyrus, planum temporale, supramarginal gyrus, and Broca's area. Semantic processing involves a widespread neural network, including the left inferior frontal gyrus, middle and inferior temporal gyri, angular gyrus, and anterior temporal lobe. Syntactic processing is primarily associated with the left inferior frontal gyrus (especially Broca's area) and posterior temporal regions. The results point to both distinct and overlapping neural structures for each linguistic component, revealing the complex and integrated nature of language functions in the brain. This review contributes to a comprehensive understanding of the neural basis of language and provides a solid foundation for future neurolinguistic research.

Giriş

İletişimin temel unsuru olan dil, seslerin ve sembollerin anlamlı etkileşimi ile oluşmakta ve bize dünyayı algılamada yardımcı olmaktadır. Dış dünyaya dair algımızı oluşturan dilin etkin kullanımı sırasında, duyuşal girdi ve motor çıktının üç temel bellek çeşidi ile etkileşimi söz konusudur. Sesbilimsel (phonological), ortografik (orthographic) ve anlambilimsel (semantic) belleğimize nöronlar, glia ve sinapslar yoluyla dış dünyadan gelen uyaranlarla giren duyuşal girdi, motor çıktı ile dışarı vurum gerçekleştirir. Duyuşal girdi vücudumuza sözlü dil, çevresel sesler ve müzik gibi uyaranlarla işitsel işleme (auditory processing) yoluyla girebileceği gibi yazılı dil, nesneler, yüzler ve işaretler yoluyla görsel işleme (visual processing) ile de girebilir. Bunların yanında braille alfabesi yoluyla dokunsal işleme ile de duyuşal girdi gerçekleştirilmektedir. Duyu organları (göz, kulak, burun, dil ve deri) aracılığıyla tek tek veya bazen de bir arada giren duyuşal girdi, sözlü üretim ile dışa vurmaktadır. Motor dil çıktısı yukarıda bahsedilen dıştan gelen uyaranlara tepki olarak ortaya çıkabileceği gibi tamamıyla içten gelen düşüncelerin dışa vurumu ile de gerçekleştirilmektedir (Price, 2000: 335). Beyin görüntüleme çalışmaları, temel anlamda oluşumu bu şekilde gerçekleşen dil olgusunu farklı dönemlerde, farklı kuramsal çerçevelerde ve farklı yöntemlerle sunan sinirdilbilim çalışmaları ile açıklamaya çalışmıştır.

Son otuz yıldır yapılan nörogörüntüleme çalışmaları, dilin üç temel bileşeni olan sesbilimsel, anlambilimsel ve sözdizimsel işlemlerin beyin farklı ancak kısmen örtüşen bölgelerinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, örneğin sesbilimsel işlemlerin çoğunlukla sol süperior temporal girüs ve supramarjinal girüs gibi bölgelerde; anlambilimsel işlemlerin sol inferior frontal girüs, anterior temporal korteks ve angüler girüs gibi bölgelerde; sözdizimsel işlemlerin ise özellikle Broka alanı ve sol posterior temporal bölgelerde gerçekleştiğini göstermektedir.

Bu bağlamda, dilin nörobilişsel temelini anlamak ve dilin sözcüksel düzeydeki işleniş biçimlerine odaklanmak, bu geniş yapı içindeki temel bileşenleri anlamamıza katkı sağlar. Zira bir sözcüğün beyinde işleniş biçimi, dilsel bilgiye erişimin temel taşıdır.

Bu çalışmanın amacı, sözcük işleme üzerine yapılan öncü beyin görüntüleme araştırmalarını sistematik bir biçimde inceleyerek, dilin temel bileşenlerinin kortikal temsil alanlarını karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda, iMRG ve PET gibi görüntüleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiş dokuz temel çalışma detaylı biçimde analiz edilmiştir. Böylelikle

sözcüğün beyindeki işitsel, görsel ve anlamsal görünüşleri bütüncül bir çerçevede ele alınmıştır.

Kuramsal Çerçeve

Dil olgusunun, 19. yüzyıl boyunca beyin hasar çalışmaları yöntemi (Lesion Deficit Model) ile açıklanmaya çalışıldığı görülmektedir. Bu dönem boyunca beyinde odak hasarlı bölgelerin çalışması yoluyla elde edilen bulgular beyin özelliklerini anlamada yararlanılan en yaygın ve güçlü yöntemidir. Bu çalışmaların başlangıç noktası 1861 yılında Broka'nın bir otopsi çalışmasında sol yarı kürenin üçüncü frontal kıvrımındaki bölgeyi konuşma ve sesin üretimiyle bağlantılı işlevlerin yürütüldüğü alan olarak saptaması ile ve bu bölgenin Broka alanı olarak adlandırılması ile başlamıştır. Bu çalışmaları 1871 yılında Wernicke'nin konuşmayı anlama sorunu olan bir hastasının üzerinde yaptığı otopsi çalışmasında beyin sol posterior temporal girüsünde hasar olduğunu tespit etmesi ve bu bölgenin de konuşmanın işitsel özelliği ile ilgili alanı olduğunun belirlenmesi ile devam etmiştir. Wernicke alanı olarak da adlandırılan bu bölge, beyin konuşmada işitsel görüntüsünün izlenebildiği kortikal alandır.

Beyin hasar çalışmaları yönteminin sınırlılıkları, sinirdilbilimsel süreçlere ilişkin yorumlama yapmayı oldukça zorlaştırmaktaydı. Bu sınırlılıklardan ilki elde edilen bulguların anatomik kesinlik içermemesi ve bu süreçle ilgili psikolojik bileşenlerin net olarak ortaya konamamasıdır (Shallice, 1988). Örneğin pek çok nörofizyolojik bozukluk görünüşleri oldukça karmaşık yapıdadır ve birden fazla bilişsel eksiklikten kaynaklanabilir. Bireyin bu tür bilişsel eksiklikleri telafi etmek için yeni bilişsel organizasyonlar yapması veya sinirsel yeniden oluşumlar meydana getirmesi mümkün olabilmektedir. Aynı şekilde patolojik hasarlar, nadiren, işlevsel olarak homojen nöroanatomik sistemle uyumlu olmaktadır. Bununla birlikte beyin bazı bölgeleri iskemik hasara çok yatkındır. Diğer bir sınırlılık ise kaybedilen bilişsel işlev bozukluğun hasarlı bölge ile ilgili olup olmama olasılığı veya hasarsız bölgeler arasındaki irtibat eksikliğinden kaynaklanıp kaynaklanmamasıdır. Beyin hasar yöntemi ile emin olunabilen tek bilgi hasarlı bölgeye ilişkin nöral sistem veya o bölgedeki bağlantıların kaybedilen işlevle ilgili olduğudur. 2000'li yılların başına kadar beyin hasar çalışmaları yönteminden elde edilen verilerle açıklanmaya çalışılan dil olgusu, son otuz yıldır ise işlevsel beyin görüntüleme çalışmaları ile yapılagelmektedir. Dilin oluşumunda (üretim-anlama-işleme) beyin işlevi görüntüsünü ortaya koymak için kullanılan işlevsel görüntüleme çalışmalarının beyin hasar çalışmaları modeline göre pek çok avantajı vardır. En belirgin avantajı beyin etkinliğini canlı bir birey üzerinde herhangi bir operasyonel müdahale

¹ Sıklıkla belirli bir dokudaki kan akışının zayıflaması veya tamamen kesilmesi sonucu dokunun başta oksijen olmak üzere hayati önem taşıyan moleküllere erişiminin engellenmesine bağlı olarak gelişen doku hasarına verilen isimdir.

gerekmeksizin yapılabilmesidir. Psikolojik ve fizyolojik açıdan işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (iMRG) dilin işlevsel yapısını göstermeye yönelik görünümeler ortaya koymaktadır. Sağlıklı bireyler üzerinde girişimsel olmayan gözlemler yapmayı sağlayan iMRG yöntemi beyindeki, örneğin az hasarlı bir bölgede gelişen yeni işlevsel fonksiyonu ve bilişsel veya nöronal bir hasar sonrası yeniden oluşan işlevselliklerin yerini saptamada yardımcı olmaktadır. Bu yöntemin beyin hasar yöntemine göre bir diğer avantajı ise sadece beyinde hasarlı bölgeye özgü bilgi vermekle kalmayıp belirli bir duyu, motor veya bilişsel etkinliğin oluşumunu sağlayan dağılımsal kortikal bölgeleri de tespit edebilmesidir.

Ancak 21. yüzyılın başında işlevsel beyin görüntüleme çalışmaları hâlâ en temel sorulara cevap bulmak için uğraşmaktadır. Bunlar, konuşmayı anlamada ve üretmede beynin işleyişi nasıldır, konuşma dili yazı dilinden ne anlamda farklıdır ve bunlar hangi beyin bölgelerinin etkinliği ile gerçekleşir, sözcük anlamı ve algısı beyinde nasıl ve nerede temsil edilmektedir gibi sorulardır. Dille ilgili bu soruları cevaplamada başlangıç noktası sözcüğün beyinde görünümünü ortaya koyma olacaktır. Sağlıklı bireylerde sözcüksel işleme bölgelerini ortaya koymaya yönelik bu zamana kadar pek çok iMRG, PET ve elektrofizyolojik çalışma yapılmıştır. Dilsel fonksiyonların insan beyninde hangi özel bölgelerde gerçekleştiğini belirlemek amacıyla çok uzun süre pek çok araştırmancının konusu olan bu çalışmalar 19. yy. boyunca beyin hasar çalışmaları ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu döneme özgü çalışmalar en genel tanımıyla Broka alanı olarak kabul edilen frontal bölgenin dilsel planlama ve konuşma üretimi ile ilgili bölge olduğunu ileri sürmekteydi. Daha arka (posteriyor) bölge ise dilsel uyarıyı belirleyen ve analizini yapan Wernicke alanı kabul edildi. Pek çok araştırmacı bu temel çerçeve noktasında aynı fikirde olsa da uluslararası alan yazında henüz dilin sözcüksel gerçekleşimi ile ilgili daha detaylı kabul edilmiş ortak bilgiye rastlanamamaktadır.

Buradan hareketle bu makalenin amacı dilin temel bileşenleri olan sesbilimsel, anlambilimsel ve sözdizimsel işlemlerin beyindeki kortikal karşılıklarını inceleyen dokuz öncü nörogörüntüleme çalışması karşılaştırmasını yaparak sözcüğün kortikal görünümelerini ortaya koymaktır.

Sözcüğün Sesbilimsel İşlenmesi

Dilin karmaşık doğası, birbirinden farklı disiplinlerin dili açıklamak için bir arada çalışmasını gerektirmektedir. Dilin beyinde gerçekleşimi; sinirbilim, psikoloji, fizyoloji, istatistik gibi pek çok alanın katkısı ile sinirdilbilim çalışmaları adı altında gerçekleşmektedir. Sinirdilbilim çalışmaları, dilin kortikal görünümünü belirlemek adına, üzerinde çalışılması daha kolay olduğu için sözcüksel işlemleri ele alarak dilsel işlemeyle ilgili sonuca ulaşmaya çalışmaktadır. Sözcüksel işlemleri ele alan bilişsel ve sinirbilimsel çalışmalardan ilki olan paralel işleme modeli sözcüğün üretimsel ve anlambilimsel

kodlarına ulaşma yolunda ilk olarak işitsel ve görsel iki ayrı yünden erişiminin olduğunu kabul etmektedir (Petersen, 1988). Bunun karşıt görüşü ise seri işleme modeli adıyla önce görsel girdinin işitsel temelli koda dönüştürülmesi ve sonrasında ise anlambilimsel ve üretimsel erişimin oluşması şeklinde en genel şekliyle tanımlanabilir. Klinik sinirbilim çalışmalarının çoğunlukla kabul ettiği bu görüşe göre, anlama ulaşmak için önce sesbilimsel koda, ardından motor çıktı için ise anlambilimsel koda ulaşmak gerekmektedir. Buna göre görsel olarak algılanan bir sözcüğün angüler girüste sesbilimsel görünümü gerçekleşecektir. Ardından ise Wernicke alanında posteriyor temporal lobda anlambilimsel kodlanması gerçekleşecektir. Ancak bu sıralı süreçlerden sonra üretim gerçekleşebilecektir. Her iki modelde de ele alınan sözcüğün işitsel işlenmesinin gerçekleşme alanları, farklı araştırmacılar tarafından ele alınan çeşitli elektrofizyolojik çalışmalarla ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Sözcüğün okunması sırasında en genel ele alınışı ile temel duysal ve motor içeriklerin yanında daha merkezi bileşenler olarak kabul edilen sözcüğün görsel görünümünün analizi (ortografik özelliği), sözcüğün sesbilimsel yapısı (fonolojik özelliği) ve sözcüğün anlambilimsel analizi (semantik özelliği) de ele alınmalıdır. Sözcüğü görsel olarak algılamaya dair iki temel bilişsel yetiden birisi ortografik içerik, diğeri ise sesbilgisel içeriktir. Ortografik içerik sözcüğün alanyazında pek fazla değinilmeyen ve sözcüğün görsel algısında rol alan harflerin görünümüne dair içeriktir. Ortografik içerik sözcüksel görünüme ulaşmak için kullanılan yol veya sözcüğün görsel analizine ve dilbilgisel görünümüne dayanan görsel kodlama yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Sesbilgisel içerik ise bilgiyi depolayıp tekrar geri getirme ve sözcükleri seslendirme yeteneği olarak kabul edilir. Bu içeriklerin beyinde görünümünün nasıl olduğu çok uzun zaman boyunca merak edilen bir konu olmuştur. Aleksi hastalarında düzensiz sözcüklerle uydurma sözcükleri okumada gözlenen ayrışma, sözcük tanımaya dair, beyinde ortografik ve sesbilgisel içeriklere hizmet eden ayrı mekanizmalar olduğunu göstermektedir. Yüzey aleksili (ortografik) hastalar düzensiz sözcükleri okumada zorlanırken normal ve uydurma sözcükleri okumada zorlanmamaktadır. Sesbilgisel yetenekleri nispeten iyidir. Bunun tersi fonolojik aleksili hastalar ise uydurma sözcükleri okumada sorun yaşamaktadır. Fonolojik aleksili hastaların sağlam bir ortografik yetenekleri vardır. Bu hastalar gerçek sözcükleri okumada zorlanmamaktadır. Bu tür çift yönlü model sözcüklerin fonolojik rota yoluyla tanınabildiği gibi (sözcüklerin ses görünümüne grafem-fonem karşılıkları ile GpC kuralı ile tanınabildiği gibi) doğrudan rota ile zihinsel sözlükçede yer alan anlamlarına görünümlemlerinden ulaşarak tanınabileceğini göstermektedir. Bu yaklaşım bağlantısalcılık ile taban tabana zıt bir görüş açısidir. Bağlantısalcılık, sesbilimsel ve ortografik işlemlerin aynı anda ve dağılımsal nöral ağlarda gerçekleştiğini savunmaktadır. Bu bakış açısına

göre sözcüğün görsel görünümü lokal ağlarda aktivasyon örüntüsü şeklinde yer almakta ve hem gerçek sözcüklerin hem de uydurma sözcükler tek bir interaktif süreçte işlenmektedir. Plaut ve diğ. (1996)'nin Bağlantısalcılık Modeli fonolojik yolun sözcük sıklığı ve ses-ımla uyumundan etkilenebileceğini savunmaktadır. Fonolojik yol, ortografik bilgiyi fonolojik görünüme çevirmektedir. Bunun yanında bir başka rota da anlambilimsel rotadır. Bu modelde ortografik bilgi anlambilimsel rotaya çevirilir. Anlambilimsel rota da fonolojik görünüme çevirilir. Fiez ve diğ. (1999)'nin nicel inceleme makalesinde sözcük okuma ile ilgili ele alınan dokuz çalışmada sözcük okumaya dair ortak odak noktaları ortaya konmuştur. Bu derleme göre 16 koordinat bölgesinde 147 özel odak noktası belirlenmiştir. Bunların 104 tanesi yaygın olarak 13 bulunan aktivasyon alanları olarak saptanmıştır. Kümeler halinde gruplanmış bu bölgeler sola yanallaşmış fusiform ve dilsel girüslerde (BA18-37 yakınlarında), oksipitotemporal kortekste ve sol frontal operkulumda (BA 44,45 ön insula) yer almaktadır.

Sözcüğün Anlambilimsel İşlenmesi

Anlambilimsel sözcük işleme (semantic word processing); bir sözcüğün anlamının tanınması, bağlamla ilişkilendirilmesi ve anlamlı hale getirilmesi süreçlerini içerir. Bu karmaşık bilişsel işlev, beyinde birbirine bağlı birçok bölgeyi içeren geniş bir nöral ağ tarafından gerçekleştirilir.

Sözcüğün anlambilimsel işlenmesinde ilk aşama sözcüğün işitsel olarak duyulması veya görsel olarak okunmasıdır. İşitsel olarak duyulan sözcükler birincil işitsel korteks (süperiyör temporal girüs) ve görsel olarak okunan sözcükler oksipitotemporal yolda (Visual Word Form Area- VWFA) işlenmektedir. Bu aşama, anlambilimsel işlenmeden daha çok sözcüğün biçimsel tanınması için zorunludur.

Anlamsal bilginin çağrılması sırasında sözcüklerin anlamları kodlandıkları alandan geri çağrılmaktadır. Kavramlar, nesne kategorileri ve sözcük-anlam eşleşmeleri bu kodlama alanlarında işlenmektedir. Sol orta ve inferiyör frontal girüs bu aşamanın gerçekleştiği alandır. Demb ve diğ. (1995)'nin iMRG kullanarak yaptıkları çalışmada sol inferiyör prefrontal korteksin anlambilimsel bellekle ilişkili bir "semantik yürütücü sistem" olarak işlev gördüğü öne sürülmektedir.

Sol anterior temporal lob, çoklu modaliteden gelen anlamsal bilginin birleştiği anlamsal bölge (hub) olarak kabul edilmektedir. Özellikle soyut ve bağlama bağlı anlamlarda etkin olan bir bölgedir.

Sözcüğe dair anlamsal bilginin seçilmesi ve düzenlenmesi bir sonraki aşama olarak kabul edilmektedir. Anlamı belirsiz veya çok seçenekli sözcüklerde doğru anlamın seçilmesi, anlamsal çatışmaların çözümü ve dikkatin yönetildiği bu aşama sol inferiyör frontal girüste (Broka alanının ön kısmı) gerçekleşmektedir.

Anlamın bağlamla entegrasyonu ise parietal lobda angüler girüste meydana gelmektedir. Burada kavramlararası ilişki kurma, metaforları anlama, yazılı dilin işlenmesi gibi süreçler meydana gelmektedir. Özellikle anlatı bağlamında kavramlararası ilişkiyi yöneten ve otobiyografik hafıza ve içsel değerlendirmenin yapıldığı bir diğer anlambilimsel işleme bölgesi de medial prefrontal korteks ve posteriyör singulat korteks olarak öne çıkmaktadır.

Sözcüğün Sözdizimsel İşlenmesi

Sözcüğün sözdizimsel işlenmesi, beyin dil işleme sürecinde bir sözcüğün tümce içindeki dilbilgisel işlevine (özne, nesne, yüklem vs.), yapısal ilişkilerine (hangi öğeyle nasıl bağlantı kurduğu) ve söz dizimine uygun biçimde gerçekleşimine göre gerçekleşir. Sözdizimsel işleme, anlamsal ve sesbilimsel işlenmeden ayrıdır. Demonet ve diğ. (1992) ve Friederici ve diğ. (2000), dilin işlenmesi sırasında sözdizimsel, sesbilimsel ve anlamsal süreçlerin beyinde farklı alanlarda gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Bu ayrım, sözcüğün sadece anlamı ya da ses yapısıyla değil, tümcedeki işlevi ve yapısal rolüyle de beyin tarafından ayrı biçimde ele alındığını göstermektedir. Sözdizimsel işlemede sol inferiyör frontal girüs (Broka alanı) kritik rol oynar. Friederici ve diğ. (2000) ve Wise ve diğ. (1991) gibi çalışmalarda, sözdizimsel kuralların işlenmesi sırasında özellikle sol inferiyör frontal girüsün etkin olduğu görülmektedir. Broka alanı sözcüğün tümcedeki yapısal konumunu tanıma ve onu doğru şekilde yerleştirme sırasında etkin olmaktadır. Friederici ve diğ. (2000), OİP (Olaya İlişkin Potansiyeller) ve iMRG verilerini birleştirerek, sözdizimsel yapıların ilk 200-300 ms içinde işlendiğini; anlamsal işleme süreçlerinin ise bunu takiben devreye girdiğini ileri sürmüştür. Bu da sözcüğün cümle içindeki yapısal (sözdizimsel) analizinin hızlı, otomatik ve anlamdan önce gerçekleştiğini göstermektedir.

Yöntem

Bu çalışmanın amacı sistematik derleme yaklaşımı ile sesbilimsel, sözdizimsel ve anlambilimsel sözcük işleme konusundaki araştırmaların mevcut durumunu incelemektir. Sistematik derleme; belirli bir konudaki araştırma bulgularının sistematik olarak toplanması, gözden geçirilmesi ve sentezlenmesi için bilimsel ve son derece bilgilendirici bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Paul ve diğ., 2021). Sistematik literatür taraması; mevcut araştırmaları tanımlamak, toplamak, seçmek, eleştirel olarak değerlendirmek, analiz etmek, yorumlamak ve sonuçları sunmak için organize ve tekrarlanabilir yöntemler kullanarak gözden geçirmeye yönelik planlı ve yapılandırılmış bir yaklaşımdır (Fisch & Block, 2018). Çalışmada veri toplama tekniği olarak makale incelemesi kullanılmıştır. Makaleleri özetlemek, tanımlamak ve temaların kalıplarını karşılaştırmak içinse içerik analizi kullanılmıştır (Seuring & Gold, 2012). Bu sistematik derleme, "Sistematik İncelemeler ve Meta-

Analizler için Tercih Edilen Raporlama Ögeleri” (PRISMA) kılavuzuna uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca değerlendirme sürecini daha tutarlı bir şekilde yapılandırmak için Fisch & Block'un (2018) önerdiği yaklaşım takip edilmiş, “word processing, PET, fMRI, semantic processing, cortical localization” anahtar kelimeleri taranmıştır. Geriye dönük zaman sınırı getirilmemiştir. Araştırma kapsamına yalnızca tam metnine ulaşılabilen ve bilimsel hakemli dergilerde yayımlanan İngilizce makaleler dâhil edilmiştir. Tarama sonucunda isminde “fMRI”, “PET”, “word”, “cortical localization” ifadelerine yer veren toplam dokuz adet makaleye erişilmiştir. Süreçte makalelerin tam metinleri kaydedilmiş, tarihsel olarak sıralanmış, daha sonra amaç, yöntem, bulgu ve sonuçları kapsamında değerlendirilmiştir. Araştırmaya dahil edilen makaleler 1988 yılı başlangıç olarak seçilerek belirlenmiştir. Çünkü bu dönem PET kullanılarak dil işleme üzerine yapılan ilk öncü çalışmaların yayımlandığı ve deneysel görüntüleme yaklaşımlarının temellerinin atıldığı bir zaman dilimidir. 1992–1995 arası ise, iMRG'nin klinik ve bilişsel nörobilimde kullanılmaya başlandığı ilk yıllardır. Bu derlemede 1988-2000 arasındaki çalışmaların seçilmesinin nedeni de bu dönemde kullanılan yöntemler (PET ve erken iMRG protokollerinin) teknolojik olarak benzer nitelikte olmasıdır. Çalışmada kullanılan veriler kamuya açık verilerden elde edildiği için araştırma etik kurul raporu gerektirmeyen araştırmalar kısmında yer almaktadır

Araştırmaya dahil edilen makaleler:

1. Petersen, S. E., Fox, P. T., Snyder, A. Z., & Raichle, M. E. (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331, 585–589.
2. Wise, R. J. S., Chollet, F., Hadar, U., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. J. (1991). Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain*, 114, 1803–1817.
3. Demonet, J. F., Price, C., Wise, R., & Frackowiak, R. S. J. (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115, 1753–1768.
4. Howard, D., Patterson, K., Wise, R., Brown, W. D., Friston, K., Weiller, C., & Frackowiak, R. (1992). The cortical localization of the lexicons. Positron emission tomography evidence. *Brain*, 115, 1769–1782.
5. Demb, J. B., Desmond, J. E., Wagner, A. D., Vaidya, C. J., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 15(9), 5870–5878.
6. Shaywitz, B. A., et al. (1995). Location of semantic processing using functional magnetic

resonance imaging. *Human Brain Mapping*, 2, 149–158.

7. Binder, J. R., et al. (1997). Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 17(1), 353–362.
8. Chee, M. W. L., et al. (1999). Auditory and visual word processing studied with fMRI. *Human Brain Mapping*, 7, 15–28.
9. Friederici, A. D., Meyer, M., & von Cramon, D. Y. (2000). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain. *Cerebral Cortex*, 10(2), 121–128.

İncelenen çalışmalar:

- 1–4: PET tabanlı (Petersen, Wise, Demonet, Howard),
- 5–9: fMRI tabanlı (Demb, Shaywitz, Binder, Chee, [Cerebral Cortex çalışması]).

Bulgular

Araştırma kapsamında mevcut literatüre ilişkin kapsamlı incelemeye dayanan temel bulgular sunulmuştur. İlk olarak, çalışmaların yayımlandığı dergiler, istatistiksel yöntemler ve yayım yılları hakkında ayrıntılı bir açıklamaya yer verilmiştir.

Genel Tanımlayıcı Veriler

Sesbilimel, sözdizimsel ve anlambilimsel sözcük işleme konulu çalışmalar incelendiğinde bu konuda en çok çalışmanın yayımlandığı derginin Brain dergisi (3) olduğu görülmektedir. Diğer yayınlar birer ve ikişer adet olmak üzere üç farklı dergide yayımlanmıştır. Bu dergiler; Human Brain Mapping (2), The Journal of Neuroscience (2), Nature (1), Cerebral Cortex (1)'tir.

Sesbilimsel İşleme ile İlgili Bulgular

Sol Süperiyor Temporal Giriş (STG) ve Planum Temporale

Fonolojik kod çözme görevleri (örneğin sözcük tekrarı veya ses tanıma) sırasında sol süperiyor temporal bölgede (özellikle planum temporale) etkinlik gözlemlenmiştir. Bu bölge, işitsel sözcük tanıma ve fonemik analiz ile ilişkilendirilmiştir (Petersen ve diğ., 1988).

Sol İnferiyor Frontal Giriş (Broka Alanı)

Sesbilimsel görevler sırasında sol inferiyor frontal giriş (özellikle Brodmann alanı 44/45, yani klasik Broka alanı) etkinleşmektedir. Bu bölge, sesbilgisel bilgilerin kullanımı ve artikülasyon planlamasıyla ilişkilidir (Demonet ve diğ. (1992), Howard ve diğ. (1992)).

Sol Supramarjinal Giriş ve Angüler Giriş

Sesbilgisel kısa süreli bellek ve sözcüğün sesbilimsel işlenmesi ile ilgili görevlerde bu parietal bölgelerde etkinlik gözlemlenmiştir. Özellikle Demonet ve diğ. (1992) bu

bölgelerin sesbilimsel kod çözme ve sesbilgisel bellek ile ilişkili olduğunu belirtmektedir.

Motor/Sensörimotor Alanlar

Petersen ve diğ. (1988) ve Wise ve diğ. (1991) gibi erken çalışmalarda, konuşma üretimini veya tekrarını içeren sesbilimsel görevlerde motor korteks (özellikle precentral girüs) etkinliği gözlenmektedir. Bu, sesbilimsel işlemlerin sadece algısal değil aynı zamanda üretime yönelik süreçleri de kapsadığını göstermektedir.

Anteriyor Singulat ve Prefrontal Alanlar

Demb ve diğ. (1995) ve Shaywitz ve diğ. (1995) gibi çalışmalarda, daha zorlu sesbilimsel görevler (örneğin

sözcük karşılaştırma, ses manipülasyonu) sırasında dorsolateral prefrontal korteks ve anteriyor singulat korteks aktivasyonu görülmüştür. Bu alanlar, dikkat ve yürütücü işlevlerin sesbilimsel işlemlemeye katkısını yansıtmaktadır.

Modalite Bağımsız Etkinlik Alanları

Chee ve diğ. (1999) ve Binder ve diğ. (1997) görsel ve işitsel sözcük sunumları arasında karşılaştırmalar yapmış, sesbilimsel işlemlerin modaliteden bağımsız olarak bazı ortak beyin bölgelerinde gerçekleştiğini (özellikle sol perisilviyan bölgelerde) göstermiştir. Aşağıdaki tabloda sesbilimsel işleme ilgili beyin alanları özetlenmektedir.

Tablo 1. Sesbilimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları

Makale	Yöntem	Sesbilimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları
Petersen ve diğ. (1988)	PET	Sol supramarjinal girüs, premotor korteks, sol Broka alanı (BA 44/45)
Wise ve diğ. (1991)	PET	Sol supramarjinal girüs, posteriyor süperiyor temporal girüs (pSTG)
Howard ve diğ. (1992)	PET	Sol supramarjinal girüs, inferiyor frontal girüs (İFG), temporal korteks
Demonet ve diğ. (1992)	PET	Sol supramarjinal girüs, inferiyor frontal girüs (İFG), temporal korteks
Demb ve diğ. (1995)	iMRG	Sol inferiyor frontal girüs (BA 44/45) – özellikle sesbilimsel kodlama sırasında
Shaywitz ve diğ. (1995)	iMRG	Sol inferiyor frontal girüs, angüler girüs, supramarjinal girüs
Binder ve diğ. (1997)	iMRG	Sol posteriyor süperiyor temporal girüs, supramarjinal girüs, Broka alanı
Chee ve diğ. (1999)	iMRG	Sol inferiyor frontal girüs, posteriyor temporal ve parietal bölgeler
Friederici ve diğ. (2000)	iMRG	Sol posteriyor süperiyor temporal girüs, inferiyor frontal girüs – sesbilimsel işleme semantik ve sözdizimselden ayrılmış

Anlambilimsel İşleme ile İlgili Bulgular

Yukarıda bahsedilen dokuz öncü çalışmaya göre anlambilimsel sözcük işleme, beyin içinde tek bir merkezle sınırlı olmayan geniş bir sol yarı küre ağı üzerinden gerçekleşmektedir. Özellikle sol inferiyor frontal, anteriyor ve posteriyor temporal, angüler girüs gibi bölgeler tekrarlayan şekilde aktive olmaktadır.

Sol Inferiyor Frontal Girus (İFG)

Özellikle Brodmann alanları (45/47) anlamsal seçim yapma, çağırma ve kodlamada etkin olan bir bölgedir (Petersen ve diğ. (1988); Demb ve diğ. (1995).

Sol Anteriyor Temporal Korteks

Temporal korteks kavramsal ve anlamsal entegrasyon süreçlerinde etkindir. Bu bölgede yer alan sol orta ve Süperiyor Temporal Girüs anlamlı sözcük tanıma ve sözcük dağılımı erişimi sırasında etkin olduğu gözlenen

bölgedir. Wise ve diğ. (1991), sol orta temporal girüsün sözcük anlamlandırmada kritik olduğunu belirtmektedir.

Angüler Girüs

Soyut anlambilim, kavramlar arası ilişki sol parietal lobda yer alan angüler girüste gerçekleşmektedir (Binder ve diğ. (1997).

İnferiyor Parietal Lobül

İPL, sözcük anlamlarının yüksek düzeyde entegre edilmesiyle—özellikle bir sözcüğün anlamsal özelliklerinin birleştiği noktada—temsilci bir merkez olarak etkili bulunmuştur (Binder vd. 1997, 2009). Aşağıda anlambilimsel sözcük işleme ile ilgili bir özet tablo sunulmaktadır.

Tablo 2. Anlambilimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları

Makale	Yöntem	Anlambilimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları
Petersen ve diğ. (1988)	PET	Sol inferiyor frontal girüs (İFG), sol temporal korteks
Wise ve diğ. (1991)	PET	Sol süperiyor temporal girüs, sol orta temporal girüs, sol inferiyor frontal girüs (İFG)
Howard ve diğ. (1992)	PET	Sol temporal korteks, inferiyor parietal lobül, angüler girüs
Demonet ve diğ. (1992)	PET	Sol anterior temporal korteks, inferiyor temporal girüs
Demb ve diğ. (1995)	iMRG	Sol inferiyor prefrontal korteks (özellikle BA 45/47)
Shaywitz ve diğ. (1995)	iMRG	Sol inferiyor frontal girüs, angüler girüs, supramarjinal girüs
Binder ve diğ. (1997)	iMRG	Sol angüler girüs, posteriyor orta temporal girüs, anterior temporal korteks
Chee ve diğ. (1999)	iMRG	Sol inferiyor frontal girüs (İFG), anterior temporal korteks; modalite bağımsız aktivasyon
Friederici ve diğ. (2000)	iMRG	Sol posteriyor süperiyor temporal girüs, inferiyor frontal girüs – (sesbilimsel işleme semantik ve sözdizimselden ayrılmıştır)

Sözdizimsel İşleme ile İlgili Bulgular

Sözdizimsel sözcük işleme, dilin yapısal özelliklerini (sözcük dizilişi, cümle yapısı gibi) anlamaya yönelik süreçleri içermektedir. Sözdizimsel sözcük işleme, özellikle sol inferiyor frontal girüs (Broka alanı) ve sol posteriyor temporal korteks başta olmak üzere, frontal-temporal bir ağ tarafından gerçekleştirilir. Bu ağ, gelen dil girdisini sıraya koyar, dilbilgisel kurallara göre analiz eder ve anlamlı bir cümle yapısı oluşturur. En net ve

bütünlüklü açıklamalar Friederici ve diğ. (2000) çalışmasında sunulmuştur. Bu çalışmada sözdizimsel sözcük işlemenin sol inferiyor frontal girüs (Broka alanı), anterior ve posteriyor süperiyor temporal girüs, sol frontal operkulum ve bazal ganglia gibi bölgeleri içerdiği güçlü şekilde gösterilmiştir. Aşağıda sözdizimsel işleme ile ilgili beyin alanlarının sunulduğu bir tablo yer almaktadır.

Tablo 3 Sözdizimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları

Makale	Sözdizimsel İşleme İlgili Bulgular
Petersen ve diğ. (1988)	Daha çok sözcük tanıma ve konuşma alanları üzerine; sözdizim vurgusu yok.
Wise ve diğ. (1991)	Sol frontal ve temporal bölgelerin görev dağılımına dair genel bilgi sağlar.
Demonet ve diğ. (1992)	Sesbilimsel ve anlambilimsel işlemlerin ayrımını yapar; sözdizim sınırlı.
Howard ve diğ. (1992)	Sözcük dağarcığına yönelik işleme; yapısal analiz yerine anlamsal yön ağır basar.
Demb ve diğ. (1995)	Sol İFG aktivitesi ile anlam kodlama ilişkilidir, gramatik yapıların işlenmesine katkı sunar.
Friederici ve diğ. (2000)	Sözdizimsel işleme konusunda en doğrudan ve ayrıntılı veri sunar.
Chee ve diğ. (1999), Binder ve diğ. (1997)	Görsel ve işitsel sözcük işlemede temporal bölgelerin rolüne işaret eder.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Dilin üç temel bileşeni olan sesbilgisel, anlambilimsel ve sözdizimsel işlemlerin beyindeki karşılıklarını açıklamak üzere ele alınan dokuz öncü makalenin vardığı sonuç, her bir dil bileşeninin beyinde farklı ama kısmen örtüşen bölgelerde işlendiğidir.

Sesbilgisel işleme, yani sözcüklerin ses yapılarının tanınması ve işlenmesi, özellikle sol posterior süperior temporal girüs (pSTG) ve inferior parietal lobül (İPL) ile ilişkilidir. Sesbilgisel görevler (örneğin ses benzerliği kararları), temporal ve parietal bölgelerde etkinliğe neden olmaktadır (Demonet ve diğ., 1992). Bununla beraber, sözcük tekrarlama gibi görevler de sesbilgisel kodlamayı içermekte olduğundan pSTG’de etkinliğe neden olmaktadır (Petersen ve diğ., 1988).

Anlambilimsel işleme, sözcüklerin anlamlarıyla ilgilidir. Sözcüğün anlamının çağırılması ve aynı zamanda bağlamsal uygunluk ve anlamlılık gibi üst düzey işlemleri de kapsamaktadır. Bu işlemler daha çok beyin sol temporal ve sol inferior frontal bölgelerinde etkinliğe neden olmaktadır. Kortekste temporal bölgeler depolama ve çağırma işlevinde rol oynarken frontal bölgeler

yürütücü kontrol sağlamaktadır. Özellikle sol İFG’nin (BA 45/47) anlambilimsel bellekle ilişkili olduğu görülmektedir (Demb ve diğ., 1995; Shaywitz ve diğ., 1995). Anlambilimsel bellekle ilgili bir diğer işleme yeri de sol orta temporal girüs olarak ortaya çıkmaktadır. (Binder ve diğ., 1997). Angüler girüste özellikle bilgi entegrasyonunun gerçekleştiği görülmektedir (Howard ve diğ., 1992). Sözcüğün hem işitsel hem de görsel uyarı (duyusal girdi) anlambilimsel açıdan benzer şekilde işlenmektedir. (Chee ve diğ., 1999).

Sözdizimsel işleme, özellikle karmaşık cümlelerde dilbilgisel yapıların çözülmesiyle ilgilidir. Sol İFG’nin (Broka alanı) sözdizimsel işlemede merkezi bir rol oynadığı açıkça gösterilmiştir. Temporal bölgeler, sözdizimsel ipuçlarının anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır (Friederici ve diğ., 2000; Wise ve diğ., 1991). Sol İFG (özellikle BA 44) dilbilgisel yapı analizinde etkindir (Friederici ve diğ., 2000). Sözdizimsel yapı analizinde frontal ve temporal bölgeler birlikte çalışmaktadır (Demonet ve diğ., 1992; Wise ve diğ., 1991).

Tablo 4. Dilin Bileşenlerinin Etkin Olduğu Başlıca Beyin Alanları

Bileşen	İşlev	Başlıca Beyin Bölgeleri	Öne Çıkan Makaleler
Sesbilimsel	Ses bilgisi, sesbirim ayrımı	Sol pSTG, İPL, premotor korteks	Petersen ve diğ., (1988); Demonet ve diğ., (1992)
Anlambilimsel	Anlam çıkarımı, kavram çağırımı	Sol İFG (BA 45/47), MTG, angüler girüs	Demb ve diğ., (1995); Shaywitz ve diğ., (1995); Binder ve diğ., (1997);
Sözdizimsel	Dilbilgisel yapı analizi	Sol İFG (BA 44), pSTG, ATL	Friederici ve diğ., (2000); Wise ve diğ., (1991).

Bu sistematik literatür taramasında incelenen çalışmalar, tek sözcük işleme, sözcük kavrama, sesbilgisel ve anlambilimsel süreçlerin beyin üzerindeki dağılımını ve organizasyonunu ortaya koymaktadır. Fonksiyonel görüntüleme teknikleri (özellikle PET ve iMRG) kullanılarak elde edilen bulgular, dilin beyin içinde yaygın ve işlevsel olarak ayrılmış ağlar üzerinden işlemlendiğini göstermektedir.

Petersen ve arkadaşlarının (1988) öncülüğünde yapılan çalışmalar, tek sözcük işleme görevlerinin farklı alt bileşenlerinin, örneğin okuma, tekrarlama ve nesne adlandırma gibi süreçlerinin ayrılmış kortikal bölgeler tarafından desteklendiğini ortaya koymuştur.

Wise ve diğ., (1991) ile Demonet ve diğ., (1992), bu bulguları genişletmiş ve özellikle sol yarı kürede yer alan temporal ve frontal korteks bölgelerinin anlambilimsel ve sesbilimsel işlemede farklı rollere sahip olduğunu göstermiştir. Howard ve arkadaşlarının (1992) çalışması ise sesbilimsel ve anlambilimsel sözlükçelerin kortikal yerleşiminin ayrıştığını ortaya koyarak, sözcüksel erişim süreçlerinin çok boyutlu doğasına dikkat çekmektedir.

iMRG teknolojisinin kullanıldığı daha güncel çalışmalar (ör. Demb ve diğ., 1995; Shaywitz ve diğ., 1995; Binder ve diğ., 1997) özellikle sol inferiyor frontal girüs olarak bilinen Brodmann 45/47 bölgelerinin, anlambilimsel kodlama ve geri çağırma süreçlerinde etkin olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, prefrontal korteksin hem anlam çözümlemesi hem de bilgiye kontrollü erişim süreçlerinde rol oynadığını düşündürmektedir.

Ayrıca, Chee ve arkadaşları (1999), görsel ve işitsel sözcük işleme sırasında benzer fakat kısmen örtüşmeyen nöral ağların etkin olduğunu göstererek çoklu modaliteye dayalı dil işleme sistemlerinin varlığına işaret etmektedir. Friederici ve diğ., (2000) ise sözdizimsel ve anlambilimsel işlemenin temporal ve frontal bölgeler arasında ayrıştığını, özellikle sözdizim için sol anterior temporal korteksin ve sol inferiyor frontal bölgenin önemli rol oynadığını belirtmektedir.

Çalışmaların tamamı, dilin işlenmesinde tek bir merkezi alan yerine çok sayıda işlevsel açıdan özelleşmiş bölgenin etkileşim halinde olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, geleneksel Broka-Wernicke modelini aşan, daha bütüncül bir "ağ temelli dil modeli"ni desteklemektedir. Sesbilgisel, anlambilimsel ve sentaktik bileşenler beyinde anatomik olarak ayrılmış ağlar tarafından işlenmekte olup, bu ağlar görev türüne ve bağlama bağlı olarak farklı düzeylerde birbirleriyle etkileşime girmektedir.

Ele alınan çalışmalar, dilin nörobilişsel temellerini anlamada önemli bir temel sunmakla birlikte, bireysel farklılıklar, görev tipi ve bağlamsal etkiler gibi değişkenlerin dil işlemeyi nasıl etkilediğini daha iyi anlamak için ileri yöntemlerle yapılacak çok katmanlı analizlere ihtiyaç vardır.

TABLolar

Tablo 1. Sesbilimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları

Tablo 2. Anlambilimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları

Tablo 3. Sözdizimsel İşleme ile İlgili Beyin Alanları

Tablo 4. Dilin Bileşenlerinin Etkin Olduğu Başlıca Beyin Alanları

Kaynakça

- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S., Rao, S. M., & Cox, R. W. (1997). Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 17(1), 353–362.
- Chee, M. W. L., Caplan, D., Soon, C. S., Sriram, N., Tan, E. W., Thiel, T., & Weekes, B. (1999). Auditory and visual word processing studied with fMRI. *Human Brain Mapping*, 7(1), 15–28.
- Demb, J. B., Desmond, J. E., Wagner, A. D., Vaidya, C. J., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: A functional MRI study of task difficulty and process specificity. *The Journal of Neuroscience*, 15(9), 5870–5878.
- Demonet, J. F., Price, C. J., Wise, R., & Frackowiak, R. S. J. (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115(6), 1753–1768.
- Fiez, J. A., Petersen, S. E., & Raichle, M. E. (1999). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(2), 765–772.
- Fisch, C. & Block, J. (2018). Six tips for your (systematic) literature review in business and management research. *Management Review Quarterly*, 68(2), 103–106.
- Friederici, A. D., Meyer, M., & von Cramon, D. Y. (2000). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: An fMRI investigation of different word types. *Cerebral Cortex*, 10(2), 121–128.
- Howard, D., Patterson, K., Wise, R., Brown, W. D., Friston, K., Weiller, C., & Frackowiak, R. (1992). The cortical localization of the lexicons: Positron emission tomography evidence. *Brain*, 115, 1769–1782.
- Petersen, S. E., Fox, P. T., Snyder, A. Z., & Raichle, M. E. (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331, 585–589.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, 103(1), 56–115.
- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: Contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197(3), 335–359.
- Seuring, S., & Gold, S. (2012). Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(5), 544–555.
- Seuring, S., & Gold, S. (2012). *Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management*. Supply Chain Management: An International Journal, 17(5), 544–555.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge University Press.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., ... & Gore, J. C. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 373(6515), 607–609.
- Wise, R. J. S., Chollet, F., Hadar, U., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. J. (1991). Distribution of cortical neural networks involved in word comprehension and word retrieval. *Brain*, 114(4), 1803–1817.

Extended Abstract

Language is one of the most fundamental and complex cognitive functions enabling humans to communicate effectively and understand the world around them. It is a system of meaningful sounds and symbols that, when combined, allow for the expression and interpretation of thoughts, emotions, and intentions. At the neural level, language processing involves intricate interactions among sensory input, motor output, and various memory systems including phonological, orthographic, and semantic memory. These interactions are supported by the brain's auditory, visual, and tactile processing systems, which collectively facilitate language comprehension and production.

This article presents a comprehensive review of nine seminal neuroimaging studies that have investigated the cortical bases of word processing. The primary aim of this review is to delineate the neural substrates underlying three core components of language: phonology, semantics, and syntax. By synthesizing findings from both Positron Emission Tomography (PET) and Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) studies, this work offers an integrative perspective on how different aspects of language are mapped in the brain.

Phonological processing, which involves the perception and manipulation of speech sounds, has been consistently associated with regions in the posterior superior temporal gyrus (pSTG) and the inferior parietal lobule (IPL). These areas play a critical role in decoding the acoustic features of speech and linking them to phonological representations. The pSTG, often considered part of the auditory association cortex, is crucial for processing speech sounds in real-time, whereas the IPL contributes to the storage and rehearsal of phonological information, supporting working memory functions essential for language tasks.

Semantic processing, which pertains to the extraction of meaning from words and sentences, activates a distributed network primarily in the left hemisphere. Key

regions implicated include the left inferior frontal gyrus (IFG), especially Brodmann areas 45 and 47, the anterior and posterior temporal lobes, and the angular gyrus. The IFG is thought to be involved in semantic retrieval and selection, helping to choose contextually appropriate meanings among competing alternatives. The temporal lobes, particularly the middle and inferior temporal gyri, serve as repositories for lexical-semantic knowledge, storing information about word meanings, concepts, and their interrelations. The angular gyrus contributes to the integration of multimodal information, linking visual, auditory, and tactile inputs to semantic representations.

Syntactic processing, responsible for the comprehension and production of grammatical structure, is primarily localized in the left inferior frontal gyrus (notably Broca's area) and posterior temporal cortex. These regions are involved in parsing sentence structure, establishing hierarchical relationships among words, and supporting syntactic working memory. The left IFG, long recognized as central to syntactic operations, supports the manipulation of grammatical rules, while posterior temporal areas contribute to the representation of phrase structure and syntactic dependencies.

Importantly, the review highlights that these linguistic processes are not entirely segregated but rather involve partially overlapping neural networks. For instance, the left IFG is engaged in both semantic and syntactic processing, reflecting its role in controlled retrieval and manipulation of linguistic information. Similarly, temporal lobe regions contribute to both phonological and semantic processing, suggesting a gradient of functional specialization along the temporal cortex.

The integration of data from PET and fMRI methodologies strengthens the robustness of these conclusions, as these imaging techniques complement each other in temporal and spatial resolution. PET studies provide metabolic evidence of brain activity associated with language tasks, whereas fMRI offers precise localization of functional activation patterns. Together, these modalities have advanced the understanding of how the brain supports complex linguistic functions.

Overall, this review underscores the sophisticated and distributed nature of the brain's language system, emphasizing that language processing is supported by a dynamic interplay of cortical regions specialized for different linguistic components. These findings have profound implications not only for basic neuroscience but also for clinical approaches to language disorders, such as aphasia, which often arise from damage to these critical brain areas.

In summary, the cortical representation of word processing involves a network of regions where phonological processing is centered in the posterior superior temporal and inferior parietal areas, semantic processing recruits the left inferior frontal gyrus and temporal lobe structures, and syntactic processing

engages the left inferior frontal gyrus and posterior temporal cortex. The partial overlap and interaction among these networks reflect the brain's integrative approach to handling the multifaceted nature of human language.