

TÜRKÇE SÖZLÜ DİLDE EMOSYONEL PROZODİ VE SÖZEL BİLEŞENLERİN İNCELENMESİNE YÖNELİK NÖRODİL BİLİMSEL BİR İNCELEME

A NEUROLINGUISTIC INVESTIGATION OF THE EMOTIONAL PROSODY AND VERBAL COMPONENTS OF TURKISH SPOKEN LANGUAGE

Dr. Zeynep Zeliha BAYAZIT

Ankara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Fakültesi, Türkçe Eğitimi ve Sosyal Bilimler Bölümü,
ORCID: 0000-0001-5307-1791

ÖZET

Emosyonel prozodi ses rengi bileşeni, duygu durumu ve prozodik anlamın sezdirilmesinde anahtar rol oynamaktadır. Sözlü iletişimdeki kritik rolü nedeniyle dilbilim, tıp, bilgisayar bilimleri gibi pek çok disiplinle ilişkili olan duygusal prozodi dizgesinin beyindeki işleyişinin bilinmesi hem dil gelişimi hem yabancı dil öğretimi hem de sözlü iletişim güçlüğü yaşayan bireylerin klinik değerlendirmesinde uygun yaklaşımların belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bu düşünceden hareketle yapılan bu disiplinler arası çalışmada, son zamanlarda dikkat çekmeye başlayan ancak kullanımı henüz yaygınlaşmamış bir beyin görüntüleme yöntemi olan fNIRS tekniğinden yararlanılmıştır. Çalışmaya 8 Türkçe ve 8 İngilizce anadili konuşuru sağlıklı birey katılmıştır. Çalışmamızda elde edilen bulgular, duygusal değerliliğe bakılmaksızın Türkçede konuşma prozodisinin üst temporal girus, primer ve sekonder işitme korteksinin uzandığı orta temporal girus ve temporal sulkusu kapsayan üst temporal kortekste kodlandığını göstermiştir. Ayrıca bulgularımız mutlu, korku ve sinirli duygu durumlarını yansıtan prozodinin sol inferior frontal girusta yer alan pars triangularis ve frontal göz alanlarında yüksek aktivasyon göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Türkçe, emosyonel prozodi, beyin lokalizasyonu, Nörodilbilim, fNIRS.

ABSTRACT

Emotional prosody has a key role implication of timbre component, mood sense, and prosodic content. Due to its crucial role in verbal communication, it has a critical relationship within many disciplines such as linguistics, medicine, computer sciences. Thus the knowledge of how the prosody sequence works in the brain will contribute to both language development and foreign language teaching as well as clinical evaluation of individuals with verbal communication difficulty. From this point of view, the current study takes an interdisciplinary perspective to address the investigation of brain localization of emotional prosody and verbal components of spoken Turkish. In accordance with this purpose, the fNIRS technique was used. fNIRS has recently become popular as an emerging optical imaging technique for studying human brain function. However, it is still not widespread compared to other neuroimaging techniques. This study was conducted on both 8 healthy native speakers of Turkish and English. Our results showed superior temporal gyrus, middle temporal gyrus, which includes primary and secondary auditory cortex, and superior temporal cortex, which comprises of temporal sulcus, were strongly activated by prosodies irrespective of emotional valence. Our findings also demonstrated left inferior frontal gyrus which comprises of pars triangularis; and the frontal eye field were significantly activated for happy, angry, and fearful prosodies in spoken Turkish.

Key words: Turkish, emotional prosody, brain localization, Neurolinguistics, fNIRS.

1. GİRİŞ

Emosyonel (duygusal) prozodi, dilde duygu durum değerlerinin işaretlenmesi, sözel ve sözel olmayan dilin ayrı ayrı veya her ikisinin birden kullanılmasıyla gerçekleşmektedir (Fidan, 2007). Literatürde emosyonel prozodinin beyindeki işlenişine yönelik ilk kapsamlı araştırma Hughlings-Jackson

(1878) tarafından yapılmıştır. Duygu durumlarını yansıtan prozodinin incelendiği bu çalışmada sesbilimsel bileşenin beynin her iki yarım küresinde işlemlendiği varsayılmış, duygu durumları içeren prozodi dizgesinin ise beynin sağ yarım küresinde konumlandığı belirtilmiştir (Hughlings Jacksons, 1878). Bu çalışmadan etkilenen Van Lancker (1980) ise duygu durumunu yansıtan prozodinin beynin sağ yarımküresinde lokalize olduğunu ancak ses dizgesini oluşturan sesbirimlerin beynin sol yarım küresinde konumlandığını ifade etmiştir (Van Lancker, 1980). Ross (1981) tarafından yapılan çalışmada ise emosyonel prozodi dizgesinin beynin yalnızca sağ yarım küresinde işlemlendiği savunulmuştur (Ross, 1981). Ross (1981)'un aksine Cancelliere ve Kertesz (1990), emosyonel prozodi dizgesinin beyindeki işlemlenmesinde her iki yarım kürenin de baskın olduğunu belirtmiştir (Cancelliere & Kertesz, 1990). Cancelliere ve Kertesz (1990)'ı destekler şekilde Friederici ve Alter (2004) de duygusal prozodi dizgesinin beynin her iki yarım küresinde çift yönlü olarak işlemlendiğini ifade etmişlerdir (Friederici & Alter, 2004). Araştırmacılar, sol yarım küredeki frontal lob alanında konumlanan sesbirimlerin, beyin yarım kürelerini birbirine bağlayan korpus kallozum aracılığıyla emosyonel prozodi dizgesine ait dinamik bağıntı kurulduğunu belirtmişlerdir.

Duygusal prozodinin beyindeki işlemlenmesine yönelik yapılan araştırmaların büyük bir kısmında sağ yarım kürenin baskın olduğu belirtilmektedir. Ancak son dönemlerde yapılan bazı araştırmalarda duygusal prozodinin işlemlenmesinde sadece sağ yarım kürenin baskın rol oynamadığı, sol yarımkürenin de etkili olduğu ileri sürülmektedir. Nitekim Cancelliere ve Kertesz (1990) tarafından yapılan çalışmada duygu durumların algılanması, anlamlandırılması ve üretilmesi süreçlerinde beynin sol yarım küresinde de akut vasküler lezyonlar ile buna dayalı işlevsel bozuklukların ortaya çıkabileceği belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada sol ya da sağ yarım küre hasarı bulunan hastaların duygu durum çözümlenmelerinde beynin orta kısmında bulunan ve her iki yarım küreyle bağlantılı olan bazal ganglia ve insula bölgelerinde oluşan lezyonların lokalizasyon çerçevesinde yorumlanması gerektiği ifade edilmiştir (Cancelliere & Kertesz, 1990). Cancelliere ve Kertesz (1990)'i destekler şekilde Darby (1993)'de de dildeki duygu durum görünümünün çözümlenmesinde beyin yarımküreleri arasında karşılıklı bir işleme olduğu bildirilmiştir (Darby, 1993). Benzer şekilde Wildgruber ve arkadaşları (2009) da yaptıkları çalışmalarında sol beyin hasarından sonra duygusal prozodinin üretimi ve anlaşılmasında önemli bozukluklar olduğunu belirtmişlerdir (Dirk Wildgruber, Ethofer, Grandjean, & Kreifelts, 2009)

Emosyonel prozodi, ses rengi bileşeni, duygu durumu ve prozodik anlamın sezdirilmesinde anahtar rol oynamaktadır. Dolayısıyla bu dizgenin beyindeki işleyişinin bilinmesi hem ana dili ediniminde hem yabancı dil öğretiminde hem de sözlü iletişim güçlüğü yaşayan bireylerin klinik değerlendirmesi ve sağaltımı sürecinde uygun yaklaşımların belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Nitekim bu düşünceden olsa gerek pek çok disiplinle ilişkili olan bu dizgenin beyindeki laterizasyonu (yanallaşma), lokalizasyonu (konumlanma), aktivasyon alanları ve diğer dil bileşenleriyle olan bağıntısına yönelik yapılan araştırmalarda belirgin bir artış gözlenmektedir (Alba-Ferrara, Hausmann, Mitchell, & Weis, 2011; Kotz, Kalberlah, Bahlmann, Friederici, & Haynes, 2013; Liebenthal, Silbersweig, & Stern, 2016; Zhang, Zhou, & Yuan, 2018). Bunun temel nedenlerinden biri hem nörogörüntüleme hem de hastalar üzerinde yapılan lezyon çalışmalarından elde edilen bulguların, prozodi ve özellikle de duygusal prozodinin sağ hemisferik lateralizasyonunu doğrulayan tutarlı bir resim çizmemesidir. Bu durum literatürde, duygusal prozodi işleme sürecinin beynin farklı alanlarında laterize olan birtakım alt işlemlere dayanarak gerçekleştiği veya nörogörüntüleme tekniklerinde kullanılan yöntemsel farklılıklardan kaynaklandığı şeklinde yorumlanmaktadır. Türkçe konuşma dilinde emosyonel prozodi ve sözel bileşenlerin incelendiği bu çalışmada ise henüz kullanımı yaygınlaşmamış olan ancak dil ve dilbilim araştırmaları için oldukça uygun olduğu düşünülen fNIRS tekniğinden yararlanılmış ve elde edilen veriler Nörodilbilim'in verileri ışığında yorumlanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Grubu

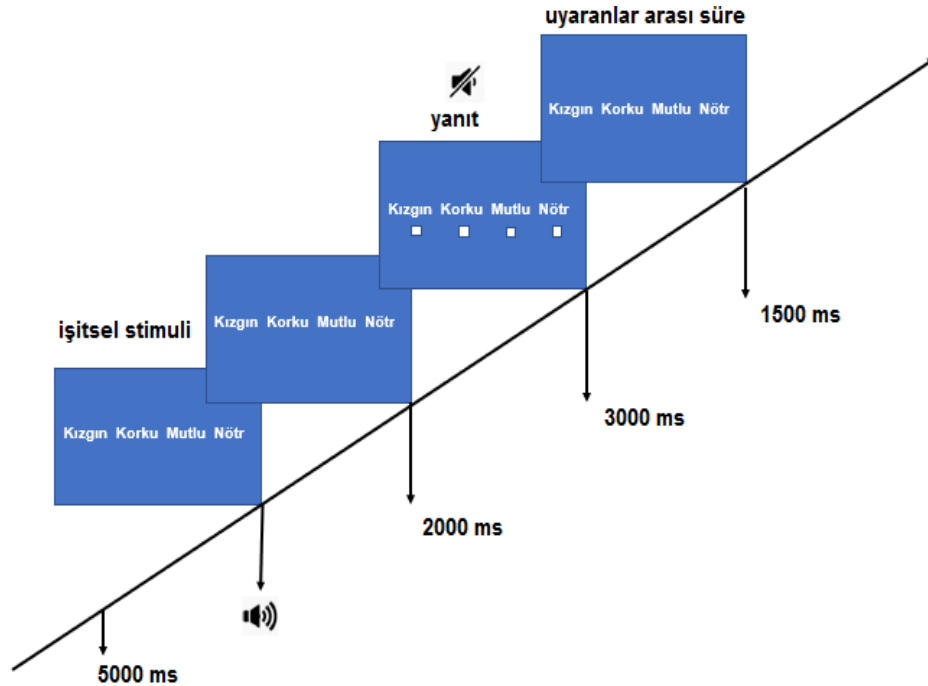
Çalışmaya lisans ve lisansüstü eğitime devam eden, herhangi bir nörolojik, psikiyatrik, duyma ve konuşma problemi bulunmayan ve sağ elini dominant olarak kullanan 20 Türkçe anadili konuşuru (6 kadın+2 erkek, yaş ortalaması 28,24) ile aynı özelliklere sahip anadili İngilizce olan ve Türkçeyi ikinci dil olarak öğrenen başlangıç seviyesindeki (elementary) 8 (3 erkek+5 kadın, yaş ortalaması 21.67) birey

katılmıştır. Uygulama öncesinde katılımcılar görüntüleme cihazı, uygulama şekli, uygulama süresi olmak üzere çalışmanın bütün aşamaları hakkında yazılı ve sözlü olarak bilgilendirilmiş ve gerekli izinler alınmıştır. Ayrıca, katılımcılara uygulama sırasında herhangi bir rahatsızlık hissetmeleri veya uygulamadan çekilmek istemeleri halinde hangi aşamada olursa olsun uygulamanın sonlandırılacağı belirtilmiştir. Tüm katılımcılar, aydınlatılmış gönüllü formunu okuyup imzaladıktan sonra fNIRS uygulaması için ses ve ışık izolasyonun sağlandığı uygulama odasına alınmıştır.

2.2. Duygusal Prozodi Tanımada Kullanılan İşitsel Stimuli ve Değerlendirme

İşitsel stimuli herhangi bir duygusal ifade içermeyen ve basit sözdiziminde üretilmiş dört Türkçe cümleyi kapsamaktadır. Bu cümlelerin ikisi hem Türkçe hem de İngilizcede ortak kullanılan ancak farklı sesletilebilen sözcüklerden ikisi de sadece Türkçede anlamlı karşılığı olan sözcüklerden oluşmaktadır. Deney koşulları için üretilen bu cümleler Tiyatro Bölümü doktora öğrencisi Türkçe anadili konuşuru bir erkek uzman tarafından kızgın, mutlu, kaygılı ve nötr olarak sesletilmiştir.

İşitsel Stimuli prosedürünün uygulanmasında, katılımcıya uygulama başladığı anda bilgisayar ekranının ortasında 5000 ms süresince mutlu, korku, kızgın ve nötr yazıları gösterilmekte ve sürenin bitiminde işitsel uyarın verilmektedir. İşitsel uyarın ortalama 1000 ms içinde bitmektedir. Bu süre bittikten 2000 ms sonrasında kadar duygu durumların yazılı ifadeleri ekranda kalmaya devam etmektedir. Ardından katılımcıya bu defa duygu durumların yazılı ifadelerinin yanı sıra her bir duygu durumunun hemen altında yer alan kutucukların bulunduğu 3000 ms'lik yanıt ekranı gösterilmektedir. Katılımcıdan, bu süre içinde işittiği uyarını bilgisayar faresi (mouse) aracılığıyla doğru kabul ettiği duygu durum kutucuğuna işaretlemesi istenmektedir. Bir sonraki uyarana geçmek için 1500 ms boyunca 'uyaranlar arası süre' (interstimulus interval) başlamaktadır. Bu sürenin bitiminde aynı prosedür tekrar edilmektedir (Şekil 1). Uygulama yaklaşık 25-30 dakika sürmektedir (Bayazıt, 2018).



Şekil 1. İşitsel Stimuli Uygulama Prosedürü (Bayazıt, 2018)

2.3. fNIRS ve Uygulama Prosedürü

fNIRS uygulaması 16 LED emitörü ve 23 dedektörü bulunan NIRx Medical Technologies, LLC. Los Angeles, ABD cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulama başlamadan önce araştırmaya dahil olma kriterlerini taşıyıp taşımadığını kontrol etmek için katılımcılara 'Katılımcı Değerlendirme Ölçeği' uygulanmıştır. Araştırmaya dahil olma kriterlerini taşıyan katılımcılar bireysel olarak ses ve ışıktan izole edilmiş fNIRS uygulama odasına alınmıştır. Katılımcılar uygulama hakkında yazılı olarak bilgilendirilmişlerdir. Gerekli olduğu durumlarda katılımcılara araştırmacı tarafından ayrıca sözlü olarak da bilgi verilmiştir.

Çalışmamızda verileri toplamaya başlamadan önce 5 katılımcı üzerinde pilot uygulama yapılmıştır. fNIRS odasına bireysel olarak alınan katılımcılar 22 inch ekranlı bilgisayar monitörü önüne yaklaşık 65-70 cm mesafe olacak şekilde oturtulmuş ve katılımcılara uluslararası 10/5 sistemine göre dizayn edilmiş NIRS-EEG kepi giydirilmiştir (Şekil 2). Ardından beynin frontal ve temporal bölgelerine optodlar yerleştirilerek gerekli kalibrasyonlar yapılmıştır.



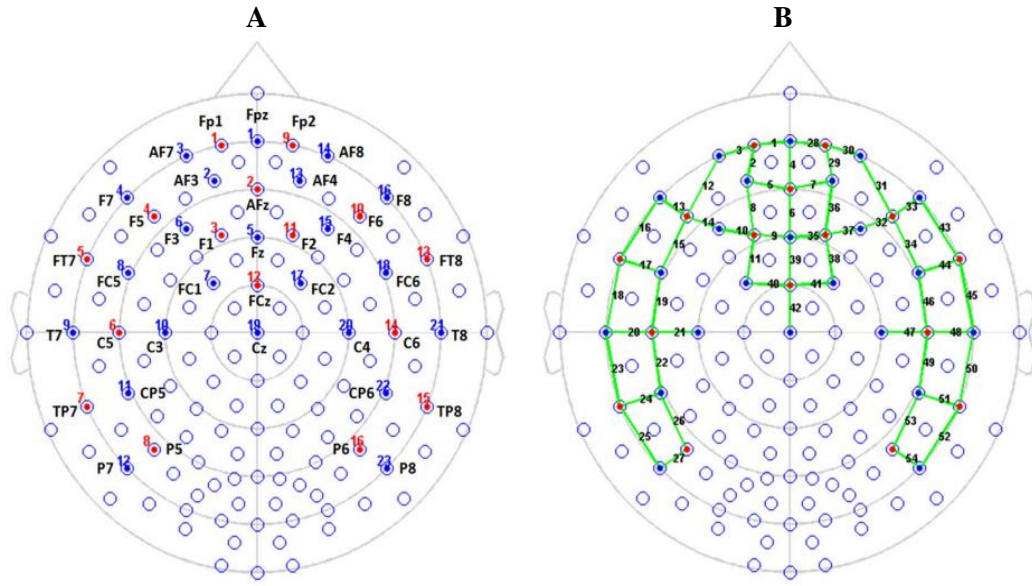
Şekil 2. NIRS-EEG Kepi (Bayazıt,2018)

Kep üzerine yerleştirilen emitör ve dedektör optodları arasındaki mesafe literatür bilgisi doğrultusunda (Herrmann, Ehliş, & Fallgatter, 2003; Zhang et al., 2018; Zhu et al., 2015) 3,0 cm olarak ayarlanmıştır. Her bir kanal ise emitör ve detektör çifti arasında kalan alan olarak belirlenmiştir. Emitörden gönderilen yakın kızılötesi ışınlar dokuda 3-4 cm derinliğe kadar inerek oradan geri yansıdığı için, yapılan ölçümler bu derinlikle sınırlı kalmıştır. Bu nedenle de beyinde yalnızca kortikal aktivitenin değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

fNIRS kaydı alınmaya başlamadan önce heyecanlanma, yorgunluk vb. gibi beyin aktivasyonunu etkileyecek durumları en aza indirmek için katılımcılara yaklaşık 10 dakika dinlenme süresi verilmiştir. Buradaki amaç katılımcıların oxyHb düzeylerinin temel seviyeye (baseline) gelmesini sağlamaktır. Katılımcılar kendilerini hazır hissettiklerini belirttikleri anda uygulamaya geçilmiştir.

2.4. fNIRS Verilerinin Kaydı

fNIRS verileri, bulunan 16 LED emitörü (yoğunluk=5mW / dalga boyu) ve iki dalga boyundaki 23 dedektörden (760 nm ve 850 nm) oluşan NIRScout 1624 (NIRx Medical Technologies, LLC. Los Angeles, ABD) sistemi ile sürekli dalga modunda kaydedilmiştir. fNIRS düzeneğinin oluşturulmasında literatürde daha önce yapılan araştırmalar (Brück, Kreifelts, & Wildgruber, 2011; Frühholz, Trost, & Kotz, 2016; Zhang et al., 2018) referans alınmış ve bu çalışmada da uluslararası 10/5 sistemine göre NIRS-EEG uyumlu bir kep yardımıyla beynin frontal ve temporal bölgelerine optodlar yerleştirilmiştir. Bu sistemde emitör ve dedektörlerin ortalama 3.2 cm (2.8cm ile 3.6 cm aralık değerinde) aralıklarla ile yerleştirilebileceği 54 uygun kanal yer almaktadır. Optodların beyindeki yerleşimi Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. EEG 10/5 Sistemine Göre Optodların Yerleşimi. (A) Emitörden Gönderilecek Kırmızı Ötesine Yakın Işımlar (Kırmızı Noktalar) ve Dedektörlerin (Mavi Noktalar) Yerleşimi. (B) 54 Kanallın Yayılımı (Yeşil Çizgiler). (Zhang et al.,2018)

fNIRS kaydı sırasında veriler 4Hz frekans değerinde kesintisiz olarak örneklenmiştir. Verilerin kaydı süresince detektör saturasyonu (doygunluğu) oluşmamıştır. NIRS kanallarının altında yatan kortikal yapıların değerlendirilmesinde, EEG 10/5 pozisyonlarına göre optodların MNI koordinatlarını tahmin etmek için Matlab toolbox NFRI (Singh, Okamoto, Dan, Jurcak, & Dan, 2005) kullanılmıştır.

fNIRS kanallarının yerleşimi her bitişik emitör-dedektör çifti arasındaki ışık yolunun orta bölgesinde tanımlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. MNI Koordinatları ve fNIRS Kanallarının Korteks Bölgesi

Kanal		MNI koordinatları			Brodmann alanı ve anatomik olarak karşılıkları (örtüşme yüzdesi)*
		X	Y	Z	
1	Fp1-Fpz	-10	68	-5	10- Frontopolar alan (0.62)
2	Fp1-AF3	-25	66	4	10- Frontopolar alan (1.00)
3	Fp1-AF7	-32	62	-8	10- Frontopolar alan (0.58) 11- Orbitofrontal alan (0.42)
4	AFz-Fpz	3	66	11	10- Frontopolar alan (1.00)
5	AFz-AF3	-12	65	20	10- Frontopolar alan (1.00)
6	AFz-Fz	2	54	38	9- Dorsolateral prefrontal korteks(0.83)
7	AFz-AF4	16	65	20	10- Frontopolar alan (1.00)
8	F1-AF3	-24	55	31	9- Dorsolateral prefrontal korteks(0.56) 10- Frontopolar alan (0.44)
9	F1-Fz	-10	44	48	8- Frontal göz alanlarını içerir (1.00)
10	F1-F3	-30	45	39	9- Dorsolateral prefrontal korteks (0.80)

11	F1-FC1	-23	31	55	8- Frontal göz alanlarını içerir (0.85)
12	F5-AF7	-46	48	0	10- Frontopolar alan (0.46) 47- Inferior prefrontal girus (0.34)
13	F5-F7	-52	39	0	47- Inferior prefrontal girus (0.62)
14	F5-F3	-46	42	21	46- Dorsolateral prefrontal korteks (0.83)
15	F5-FC5	-56	27	16	45- pars triangularis, Broca alanının parçası (0.64)
16	FT7-F7	-57	21	-13	38- Temporopolar alan (0.68)
17	FT7-FC5	-61	8	2	22- Üst temporal girus(0.61)
18	FT7-T7	-66	-7	-14	21- Orta temporal girus (1.00)
19	C5-FC5	-64	-2	24	6- Premotor ve supplementary motor korteks (0.67)
20	C5-T7	-68	-17	8	42- Primer ve işitsel korteksin birleştiği alan (0.51)
21	C5-C3	-61	-16	41	6- Premotor ve supplementary motor korteks (0.55)
22	C5-CP5	-66	-30	28	40- Supramarginal girus, Wernicke'nin bir parçası (0.73)
23	TP7-T7	-69	-31	-9	21- Orta Temporal girus (1.00)
24	TP7-CP5	-67	-44	11	22- Üst Temporal girus (0.92)
25	TP7-P7	-64	-55	-4	21- Orta temporal girus (0.58) 37- Fusiform girus (0.42)
26	P5-CP5	-60	-56	28	40- Supramarginal girus, Wernicke'nin parçası (0.58)
27	P5-P7	-58	-68	13	39- Angüler girus, Wernicke'nin parçası (0.42)
28	Fp2-Fpz	14	68	-5	10- Frontopolar alan (0.66)
29	Fp2-AF4	28	66	4	10- Frontopolar alan (1.00)
30	Fp2-AF8	35	63	-8	10- Frontopolar alan (0.63)
31	F6-AF8	49	48	1	10- Frontopolar alan (0.45)
32	F6-F4	48	42	22	46- Dorsolateral prefrontal korteks (0.82)
33	F6-F8	54	39	1	47- Inferior prefrontal girus (0.56)
34	F6-FC6	58	25	16	45- pars triangularis, Broca alanının parçası (0.69)
35	F2-Fz	12	45	48	8- Frontal göz alanlarını içerir (0.98)
36	F2-AF4	26	55	31	9- Dorsolateral prefrontal korteks (0.57) 10- Frontopolar alan (0.43)
37	F2-F4	33	44	40	9- Dorsolateral prefrontal korteks (0.72)
38	F2-FC2	25	31	55	8- Frontal göz alanlarını içerir (0.84)
39	FCz-Fz	1	30	57	8- Frontal göz alanlarını içerir (0.52) 6- Premotor ve supplementary motor korteks (0.48)
40	FCz-FC1	-12	16	64	6- Premotor ve supplementary motor korteks (1.00)

41	FCz-FC2	14	17	64	6- Premotor ve supplementary motor korteks (1.00)
42	FCz-Cz	1	1	69	6- Premotor ve supplementary motor korteks (1.00)
43	FT8-F8	59	21	-12	38- Temporopolar alan (0.62)
44	FT8-FC6	63	7	3	22- Üst temporal girus (0.63)
45	FT8-T8	67	-7	-12	21- Orta temporal girus (1.00)
46	C6-FC6	66	-3	24	6- Premotor ve supplementary motor korteks (0.66)
47	C6-C4	62	-16	40	6- Premotor ve supplementary motor korteks (0.57)
48	C6-T8	70	-17	8	42- Primer ve işitsel korteksin birleştiği alan (0.48)
49	C6-CP6	67	-30	28	40- Supramarginal girus, Wernicke'nin parçası (0.78)
50	TP8-T8	70	-30	-9	21- Orta temporal girus (0.98)
51	TP8-CP6	68	-43	11	22- Üst temporal girus (0.92)
52	TP8-P8	64	-54	-4	37- Fusiform girus (0.54) 21- Ortatemporal girus (0.46)
53	P6-CP6	61	-56	28	40- Supramarginal girus, Wernicke'nin parçası (0.61)
54	P6-P8	57	-67	13	39- Angüler girus, Wernicke'nin parçası (0.54)

*MNI koordinatlar Talairach alanına dönüştürülmüştür (Laird et al., 2010; Lancaster et al., 2007). Bir fNIRS kanalı, birkaç Brodmann alanı ile ilişkili olabilir. Bu nedenle bu araştırmada sadece örtüşme yüzdesi > 0.40 olan Brodmann alanları bildirilmiştir.

2.5. Verilerin İşlenmesi

Verilerin işlenmesinde nirs-LAB analiz kullanılmıştır. NIRS verilerinde ağırlıklı olarak geçici diken dalgalar ve ani keskin dalgalar olmak üzere iki hareket artefaktı görülebilmektedir. Çalışmamızda ilk olarak geçici diken dalgaları oluşturan artefaktlar, doğrusal interpolasyon (ara değer) ile yer değiştirmeye olanak tanıyan yarı otomatik bir prosedürle modifiye edilmiştir. Ani keskin dalgalar sonucu oluşan düzensizlikler (sıçramalar) otomatik olarak nirs-LAB programı ile tespit edilerek düzeltilmiştir (standart eşik=5). Solunum ve kalp ritimleri gibi yavaş ve yüksek frekanslarda Band-geçiş filtresi (band-pass filter) 0.01Hz'den 0.2 Hz'e kadar uygulanmıştır. Daha sonra yoğunluk verileri optik yoğunluk verilerine (ΔOD) çevrilmiş ve ölçülen her iki dalga boyundaki ΔOD , modifiye Beer-Lambert yasası kullanılarak oxyHb ($\Delta [HbO]$) ve deoxyHb ($\Delta [Hb]$) nispi konsantrasyon değişikliklerine dönüştürülmüştür (Cope & Delpy, 1988). İlk kanalın emitör-dedektör mesafesi 3,0 cm olarak ayarlanmıştır; diğer 53 kanalın tam mesafesi ise optod konumlarına göre nirs-LAB programı tarafından hesaplanmıştır. Diferansiyel yol uzunluğu (differential path length) faktörünün 760 nm dalga boyu için 7.25; 850 nm dalga boyu için 6.38 olduğu varsayılmıştır (Essenpreis et al., 1993; Zhang et al. 2018).

2.6. Verilerin İstatistiksel Analizi

Verilerin istatistiksel analizinde Sosyal Bilimler için İstatistik Paket Programı 18 (SPSS 18) kullanılmıştır. Demografik verilerin analizinde betimsel istatistikler, deney sonucu elde edilen doğru tepki sayısı verileri için parametrik olmayan (non-parametrik) testler ve tepki süresi verilerinin analizinde de Kovaryans Analizi (ANCOVA) uygulanmıştır. Yaş ve cinsiyet kovaryant olarak alınmıştır. ANCOVA sonucunda anlamlı çıkan temel ve ortak etkilerin kaynağını belirlemek amacıyla post hoc analizler (Bonferroni Düzeltmesi) kullanılmıştır. Tüm istatistiksel analizlerde $p < 0.05$ değeri anlamlı kabul edilmiştir.

Konsantrasyon değişikliklerinin istatistiksel değeri, zamansal filtrelemede kullanılan ayrık bir kosinüs dönüşümü (yüksek geçişli frekans kesme = 128 saniye) ile standart hemodinamik tepki işlevinin genel bir doğrusal modeli (nirs-LAB parametreleri = [6 16 1 1 6 0 32]) temel alınarak belirlenmiştir. $\Delta [HbO]$ ve $\Delta [Hb]$ değerlerinden her ikisinden de sinyal elde edilmiş olmasına rağmen, bu çalışmada $\Delta [Hb]$ 'ye

göre üstün sinyal-gürültü oranı nedeniyle, istatistiksel analizler için sadece $\Delta[\text{HbO}]$ konsantrasyonu dikkate alınmıştır. Beta tahmininde, SPM tabanlı algoritma (kısıtlanmış maksimum olasılık) hesaplamaları için nirs-LAB analiz paketi kullanılmıştır.

2.7. fNIRS Dalga Formlarının Görselleştirilmesi

Çalışmamızda istatistiksel dağılımların yanı sıra dalga biçimlerinin görselleştirilmesinde (waveforms visualization) dört duygusal koşulun $\Delta[\text{HbO}]$ ve $\Delta[\text{Hb}]$ dalga formları kullanılmıştır.

“Verilerin ışıksal yoğunluğa (optical density) dönüştürülmesinde, ışıksal yoğunluk (OD);

$$OD = -\log_{10}(I_{out} / I_{in})$$

formülü ile tanımlanmaktadır. Burada I_{out} algılanan ışığın yeğinliğini, I_{in} ise gelen ışığı temsil etmektedir. Pratikte I_{in} değerinin fNIRS’ın sürekli dalgalarında (continuous wave) ölçülmesi çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Bu nedenle gelen ışığı sıfırlamak yerine ışıksal yoğunluktaki değişimi ölçmek için başlangıç zamanına t_0 karşı bir zaman noktası t_1 kullanılmaktadır:

$$\Delta OD = OD_{t_1} - OD_{t_0} = -\log_{10}(I_{out}^{t_1} / I_{in}) + \log_{10}(I_{out}^{t_0} / I_{in}) = -\log_{10} I_{out}^{t_1} / I_{out}^{t_0}$$

Modifiye Beer-Lambert yasasına göre $\Delta[\text{HbO}]$ ve $\Delta[\text{Hb}]$ değişimleri çoklu yakın kızılötesi ışık dalga boylarının (λ) algılanmasından itibaren hesaplanmaktadır:

$$\Delta OD^{\lambda_1} = (\varepsilon_{HbO}^{\lambda_1} \Delta C_{HbO} + \varepsilon_{Hb}^{\lambda_1} \Delta C_{Hb}) \cdot r \cdot DPF^{\lambda_1}$$

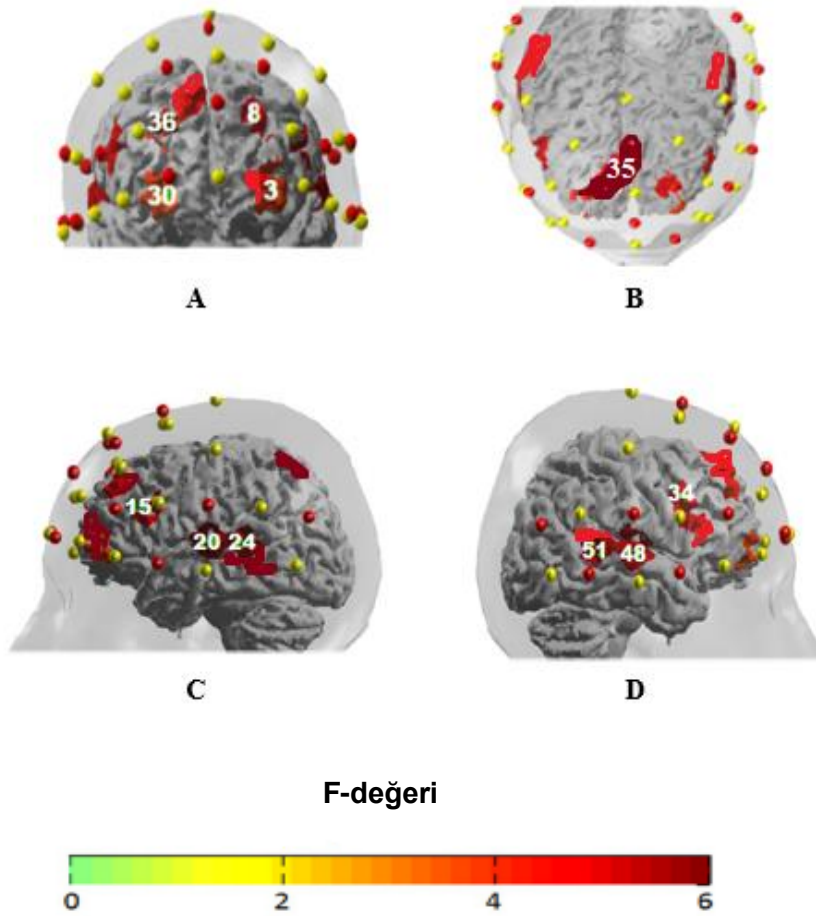
$$\Delta OD^{\lambda_2} = (\varepsilon_{HbO}^{\lambda_2} \Delta C_{HbO} + \varepsilon_{Hb}^{\lambda_2} \Delta C_{Hb}) \cdot r \cdot DPF^{\lambda_2}$$

Burada $\varepsilon_{HbO}^{\lambda}$ ve $\varepsilon_{Hb}^{\lambda}$ sırasıyla HbO ve Hb ‘nin molar sönüm katsayılarını; r detektör ve emitörden giden ışık kaynağı arasındaki bölgeyi; DPF de doku içine saçılan ışığın artışının hesaplanmasında kullanılan diferansiyel yol uzunluğu faktörünü göstermektedir” (Zhang et. Al., 2018).

Çalışmamızda $\Delta[\text{HbO}]$ ve $\Delta[\text{Hb}]$ değerleri, literatürle paralel olarak (Byun et al., 2014; Leff et al., 2008; Zhang et al., 2018) duygusal prozodi ifadelerinin başlangıcından sonra -5 ile 25 saniye arasında bir zaman aralığında değerlendirilmiştir. Her bloktan hemen önce 5 saniyelik ortalama konsantrasyon süresi başlangıç noktası olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR

Tek yönlü ANOVA analizi 3,8,15,20,24,30,34,35,36, 48 ve 51 olmak üzere 11 fNIRS kanalının dinlenme durumu (sessizlik), nötr, korku, mutlu ve kızgın duygusal prozodi deney koşullarında farklı aktivasyon paternlerine sahip olduğunu göstermiştir. Eşik değeri (düzeltilmiş $p < 0.05$) F-istatistik haritası Şekil 5’te yer almaktadır.



Şekil 5. İşitsel Uyanarlara Yanıt Olarak Sessiz Ortam, Nötr, Korku, Mutlu ve Kızgın Duygusal Prozodi Deneş Koşulları Boyunca Farklı Aktivasyon Paternleri Gösteren Beyin Bölgelerinin F-İstatistik Haritası. (Raporlanan F Değerleri İçin $P < 0,05$ Eşik Değer Kabul Edilmiştir (Çoklu Karşılaştırmalarda Benjamin ve Hochberg (1995)'in FDR Oranı Kullanılarak Düzeltme Faktörü Yapılmıştır). (A) Önden Görünüş. (B) Üstten Görünüş. (C) Soldan Görünüş. (D) Sağdan Görünüş. Beyaz Renkteki Numaralar Kanalların Sayısını Göstermektedir.)

Ayrıca bireyler arasındaki beta değerlerinin değişimini ölçmek için beta değerlerinin standart sapması hesaplanmıştır. Beta değerlerinin standart sapması Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. İşitsel uyanarlara tepki olarak sessiz ortam, nötr, korku, mutlu ve kızgın duygusal prozodi deneş koşulları boyunca farklı aktivasyon paternleri gösteren beyin bölgeleri

Kanal	Broadmann Alanı ve örtüşme oranı*	LPBA40 (örtüşme oranı) **	F (4,68)	p değeri	Düzeltilmiş p değeri***
24 TP7-CP5	22- Üst temporal girus (0.91)	Sol üst temporal girus (0.56)	6,4	<0.001	0.016
20 C5-T7	42- Primer ve İşitsel birleşme korteksi (0.53)	Sol üst temporal girus (0.65)	5,65	<0.001	0.016
51 TP8-CP6	22- Üst temporal girus (0.92)	Sağ orta temporal girus (0.61)	5,35	<0.001	0.016
		Sağ üst temporal girus (0.43)			
48 C6-T8	42- Primer ve İşitsel birleşme korteksi (0.50)	Sağ üst temporal girus (0.85)	5.34	<0.001	0.016

34 F6-FC6	45- Broka alanının pars triangularis bölümü (0.69)	Sağ inferior frontal girus (0.67)	5,07	0.001	0.016
15 F5-FC5	45- Broka alanının pars triangularis bölümü (0.64)	Sol inferior frontal girus (0.98)	5,25	0.001	0.016
35 F2-Fz	8- Frontal göz alanını içeren bölge (0.97)	Sağ üst frontal girus (0.96)	4,27	0.002	0.019
8 F1-AF3	9- Dorsolateral prefrontal korteks (0.57)	Sol orta frontal girus (0.94)	4,69	0.003	0.025
	10- Frontopolar bölge (0.47)				
36 F2-AF4	9- Dorsolateral prefrontal korteks (0.57)	Sağ orta frontal girus (1.00)	4,45	0.005	0.039
	10- Frontopolar bölge (0.48)				
30 Fp2-AF8	10- Frontopolar bölge (0.65)	Sağ orta frontal girus (0.39)	3,87	0.009	0.037
3 Fp1-AF7	10- Frontopolar bölge (0.59)	Sol orta frontal girus (0.48)	3,96	0.008	0.038
	11- Orbitofrontal bölge (0.48)	Sol orta orbitofrontal girus (0.29)			

*Broadman Alanı ve örtüşme oranları Yale Üniversitesi Talairach daemon programına göre belirlenmiştir (programa erişim <http://sprout022.sprout.yale.edu/mni2tal/mni2tal.html>)

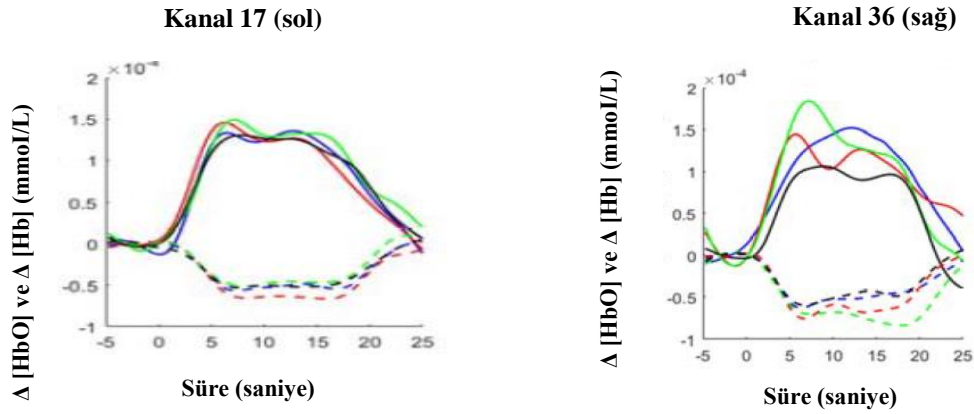
** Beyin bölgelerinin örtüşme oranlarının hesaplanmasında LPBA40 (The LONI Probabilistic Brain Atlas)'tan yararlanılmıştır (programa erişim <http://www.loni.usc.edu/>)

*** Benjamin ve Hochberg (1995)'in FDR oranı kullanılarak çoklu karşılaştırmalar için p değerleri düzeltilmiştir.

3.1. Çift Yönlü Karşılaştırmaların İzlenmesi

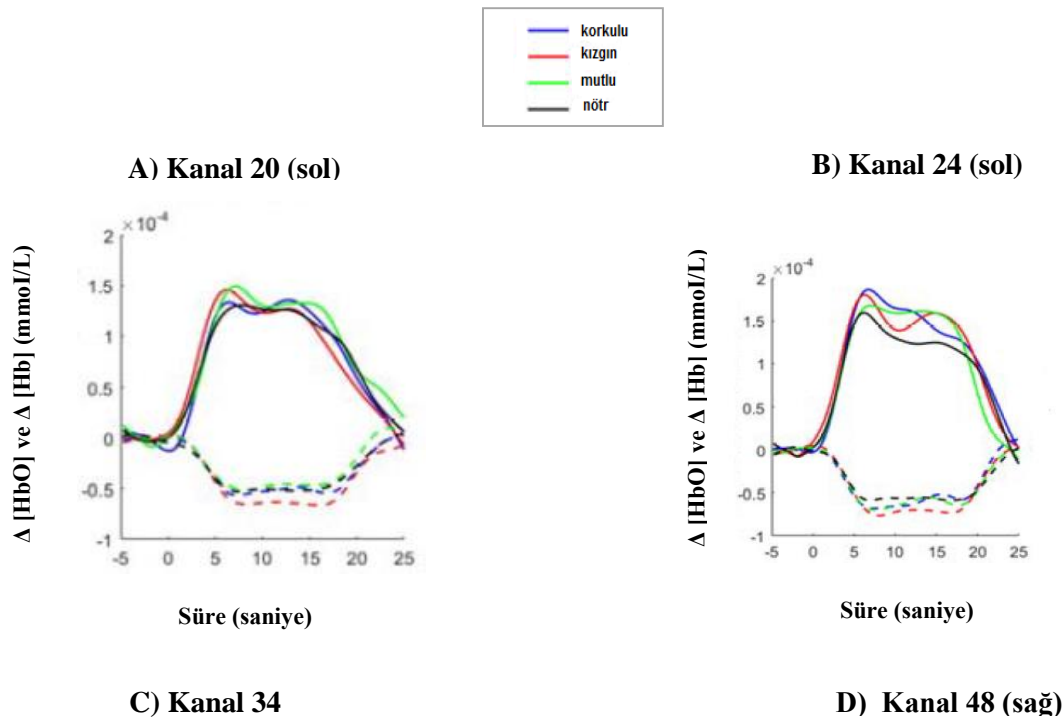
3.1.1. Türkçe Anadili Konuşurları X Türkçeyi Yabancı Dil Olarak Öğrenenler Karşılaştırması

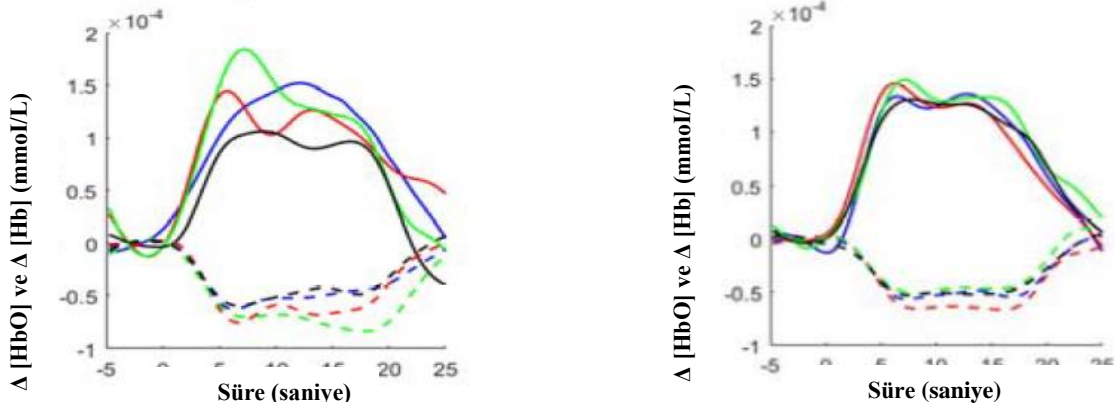
Çalışmamızda Türkçe anadili konuşurları ile Türkçeyi yabancı dil olarak öğrenen bireylerin Türkçe konuşma dilinde duygusal prozodiyi tanımları ve anlamlandırmaları sırasında oluşan beyin bölgelerindeki aktivasyon karşılaştırılmıştır. t-testi sonuçları Türkçe anadili konuşurlarının Türkçeyi yabancı dil olarak öğrenen bireylere göre iki fNIRS kanalında (Kanal 17: ve Kanal 36) prozodiye yanıt olarak önemli ölçüde aktivasyon artışı olduğunu göstermiştir. Bu iki kanaldan ilki beyinde sol süperior temporal girus (BA 22) ikincisi ise sağ dorsolateral ön frontal korteks (BA 9) alanlarına rast gelmektedir (Şekil 6). Bu alanlar dilin anlamlandırılması ve yorumlanmasından sorumlu olan beyin bölgeleridir.



Şekil 6. Türkçe Anadili Konuşurlarının Korku, Kızgın, Mutlu ve Nötr Prozodilere Yanıt Olarak Beyindeki Δ [Hbo] Ve Δ [Hb] Zaman Aralığı. Dört Duygusal Prozodinin Üst Temporal Girus (Kanal 17) ve Sağ Dorsalateral Ön Frontal Girus (Kanal 36) ve Dalga Formları.

Türkçeyi yabancı dil olarak öğrenen bireylerin, her iki dilde de kullanılan sözcüklerin yer aldığı Türkçe cümleleri dinlemeleri sırasında Kanal 17 ve Kanal 36' da aktivasyon artışı olduğu gözlenmiştir ($p < 0,02$).





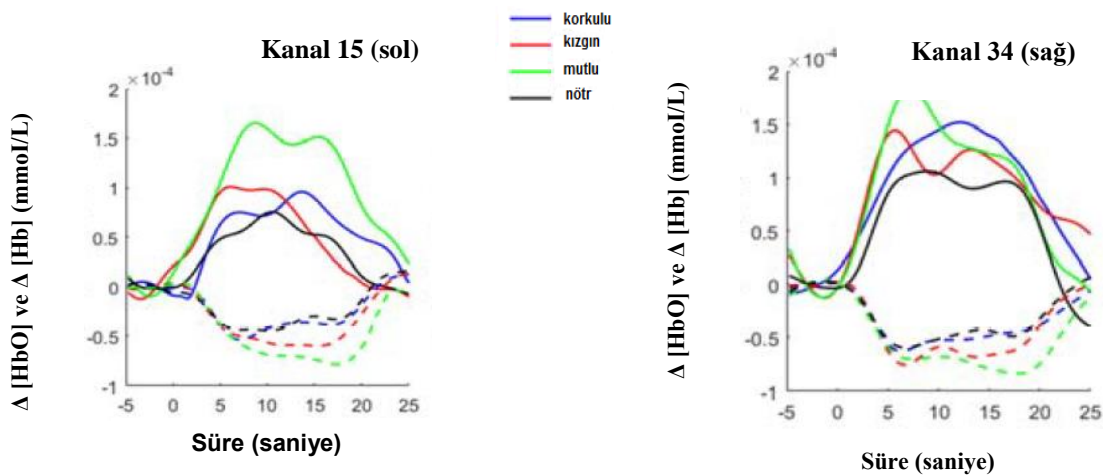
Şekil 7.

Korku, Kızgın, Mutlu ve Nötr Prozodilere Cevap Olarak Δ [HbO] Ve Δ [Hb] Zaman Aralığı. Dört Duygusal Prozodinin; A) ve D) Bileteral Primer İşitsel Korteksteki (Kanal 20 ve Kanal 48) Dalgı Formları. B) Üst Temporal Korteksteki (Kanal 24) Dalgı Formları. C) Orta İnférieur Frontal Girus (Kanal 34) Dalgı Formları.

Bunun yanı sıra prozodiye yanıt olarak iki kanalda önemli ölçüde aktivasyon düşüşü (negatif t-değeri) gözlenmiştir (Kana 8 ve Kanal 36). Bu iki kanal beyin bölgelerinden dorsolateral prefrontal korteks ve frontopolar prefrontal korteks ile örtüşmektedir.

3.1.2. Pozitif Prozodi X Negatif Prozodi Karşılaştırması

Çalışmamızda pozitif ve negatif duygu durumlarını yansıtan prozodilerin beyin bölgelerindeki aktivasyonları karşılaştırılmıştır. Pozitif kategorisini “mutlu”, negatif kategorisini ise “korkulu” ve “kızgın” duygu durumları oluşturmuştur. Bulgularımız “korkulu” ve “kızgın” prozodilere karşın “mutlu” duygu durumunu ifade eden prozodinin beyin bölgelerinde daha fazla aktivasyon artışına sebep olduğunu göstermiştir ($p < 0,021$). Ayrıca t- test sonuçları negatif prozodinin aksine pozitif prozodiye cevap olarak iki kanalda önemli ölçüde aktivasyon artışı olduğunu göstermiştir (Kanal 15 ve Kanal 34). Bu kanallardan ilki (Kanal 15) orta inferior frontal girusta yer alan sol pars triangularis ile ikinci kanal (Kanal 34) ise üst temporal girusün frontal göz alanı ile örtüşmektedir. Ayrıca, çalışmamızda orta inferior frontal girusta sessizliğe karşıt olarak prozodinin temel etkisinin sağa doğru laterizasyon gösterdiği ancak mutlu ve korkulu/kızgın prozodi tezatlığının aynı bölgede sola doğru laterizasyon gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 9).



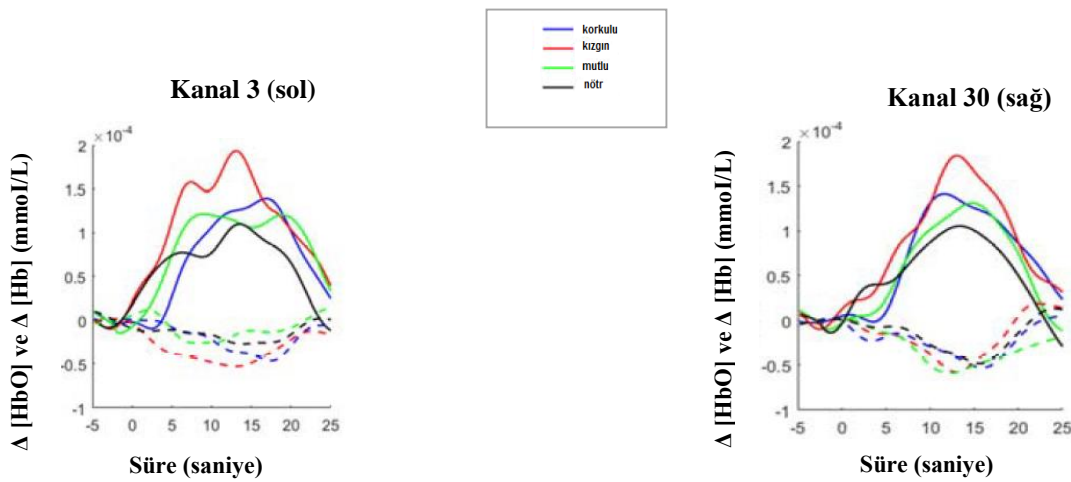
Şekil 9. Korku, Kızgın, Mutlu ve Nötr Prozodilere Cevap Olarak Beyinde Oluşan Δ [HbO] ve Δ [Hb] Zaman Aralığı. Dört Duygusal Prozodinin Bileteral Orta İnférieur Frontal Girus (Kanal 15 Ve Kanal 34) Dalgı Formları.

3.1.3. Mutlu Duygu Durum Prozodisi X Nötr Prozodi Karşılaştırması

Çalışmamızda mutlu duygu durumunu yansıtan prozodinin, nötr prozodiye göre beyin bölgelerinde daha fazla aktivasyon artışına neden olduğu gözlenmiştir. t-test sonuçları Kanal 15'in, mutlu duygu durumunu yansıtan prozodiye yanıt olarak anlamlı derecede aktivasyon artışı olduğunu göstermiştir. Bu kanal beyin bölgelerinden orta inferior frontal girusun sol pars triangularis alanına rast gelmektedir (Şekil 9).

3.1.4. Kızgın Duygu Durum Prozodisi X Nötr Prozodi Karşılaştırması

Çalışmamızda kızgın duygu durumunu yansıtan prozodinin, nötr prozodiye göre beyin bölgelerinde daha fazla aktivasyon artışına neden olduğu gözlenmiştir. t-test sonuçları kızgın duygu durumunu yansıtan prozodiye yanıt olarak simetrik konumlanan kanallardan Kanal 3 ve Kanal 30'un beyin bölgelerinden orbito frontal korteksin frontopolar ve orbitofrontal alanlarında anlamlı derecede aktivasyon artışına neden olduğunu göstermiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Kızgın ve Nötr Prozodilere Cevap Olarak Beyindeki Δ[Hbo] ve Δ[Hb] Zaman Aralığı. Bilateral Frontopolar ve Orbitofrontal Bölge (Kanal 3 Ve Kanal 30) Dalga Formları.

3.1.5. Korku Duygu Durum Prozodisi X Nötr Prozodi Karşılaştırması

Çalışmamızda son olarak korku duygu durum prozodisi ile nötr duygu durum prozodisine yanıt olarak aktive olan beyin bölgelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Korku duygu durumunu yansıtan prozodinin, nötr prozodiye göre beyin bölgelerinde daha fazla aktivasyon artışına neden olduğu gözlenmiştir. Ancak çoklu karşılaştırma düzeltilmesinde de bu düzeltmeyi uygulamadan önce de hiçbir kanal anlamlılık ifade edecek derecede etkinleşmemiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Prozodi dizgesi, literatürde genellikle beynin sağ yarım küresinde frontal ve temporal alanlarda aktivasyon gösteren bir bileşen olarak gösterilmektedir (Brådvik et al., 1991; George et al., 1996; Ross & Mesulam, 1979; Weintraub et al., 1981). Temelde sesbilimsel bileşenin parçalar üstü (suprasegmental) bir alt bileşeni olduğu kabul edilen bu dizgenin dilin anlamlandırma, yorumlama ve algılama süreçleriyle ilişkili olması, dolayısıyla daha öznel bir yapılanma içermesi, bu dizgenin beynin sağ yarım küresiyle ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Çünkü bu alan, sağ frontal lobda yer alan yürütücü/üst bilişsel işlevler (executive functions) ile prozodi dizgesinin de temel özelliklerinden olan duygu durumlar, anlamlandırma ve yorumlama gibi özelliklerle ilişkilidir. Ancak prozodinin bunların ötesinde beynin sol yarım küresinin temel işlevlerinden olan analitik çözümlenmeyle de ilişkili bir birim olduğu düşünülmektedir. Buna dayalı olarak, prozodinin yalnızca sesbilimsel bir işlevinin olmaması, cümlenin bilgi yapısına bağlı işlemesi ve sözdizimsel-anlamsal-kullanımsal dil bileşenlerinden etkilenmesi sonucu, bu dizgenin beynin sol yarım küresinde de gözlemlenmesi beklenmektedir (Bayazit, 2018).

“İlk olarak Astésano ve arkadaşları (2004) tarafından Fransızca prozodi dizgesi ve sözdizim üzerine yapılan çalışmada, bu dizgenin yalnızca beynin sağ yarım küresiyle ilişkili olmadığı, beynin sol yarım küresinde de prozodiye ilişkin izlere rastlandığı bildirilmiştir (Astésano, Besson, & Alter, 2004). Benzer şekilde Türkçede de prozodi dizgesi ve sözdizimsel dizgenin beyin yarım küreleri arasında bağımlı bir işlemeleşiminin olduğu ifade edilmektedir. Bekar (2016) tarafından yapılan Türkçede eylem-sonu konumundaki prozodi-sözdizim etkileşiminin incelendiği elektrofizyolojik çalışmada prozodi-sözdizim etkileşiminin beynin her iki yarım küresinde de çift yönlü olarak işlemlendiği gösterilmiştir. Türkçe açısından özgün sonuçlar içeren çalışmada, prozodinin, sözdizim üzerinde yoğun etkisinin olduğu belirtilmiş, ek olarak da beyinde bu ögenin sözdizimden önce işlemlendiği yönünde bulgulara ulaşılmıştır (Bekar, 2016). Prozodinin iletişimsel boyutlarından biri olan ve konuşma sırasında duyguların konuşmaya aktarılmasını ifade eden duygusal prozodi ise ses rengi bileşeni, duygu durumu ve prozodik anlamın sezdirilmesinde anahtar rol oynamaktadır. Dolayısıyla bu dizgenin beyindeki işleyişinin bilinmesi hem ana dili ediniminde hem yabancı dil öğretiminde hem de sözlü iletişim güçlüğü yaşayan bireylerin klinik değerlendirmesi ve sağaltımı sürecinde uygun yaklaşımların belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Nitekim bu düşünceden olsa gerek pek çok disiplinle ilişkili olan bu dizgenin beyindeki laterizasyonu (yanallaşma), lokalizasyonu (konumlanma), aktivasyon alanları ve diğer dil bileşenleriyle olan bağıntısına yönelik yapılan araştırmalarda belirgin bir artış gözlenmektedir (Lucy Alba-Ferrara et al., 2011; Kotz et al., 2013; Liebenthal, Silbersweig, & Stern, 2016; Zhang et al., 2018). Bunun temel nedenlerinden biri hem nörogörüntüleme hem de hastalar üzerinde yapılan lezyon çalışmalarından elde edilen bulguların, prozodi ve özellikle de duygusal prozodinin sağ hemisferik lateralizasyonunu doğrulayan tutarlı bir resim çizmemesidir. Bu durum literatürde, duygusal prozodi işleme sürecinin beynin farklı alanlarında laterize olan bir takım alt işlemlere dayanarak gerçekleştiği veya nörogörüntüleme tekniklerinde kullanılan yöntemsel farklılıklardan kaynaklandığı şeklinde yorumlanmaktadır. Zira, Kotz ve arkadaşları (2006) duygusal prozodi üzerine yaptıkları meta-analiz çalışmasında, nörogörüntüleme teknikleriyle yapılan araştırmalarda duygusal değerliliğin ağırlıklı olarak sağ hemisferde laterize olduğunu, olaya ilişkin potansiyellerin değerlendirildiği elektrofizyolojik incelemelerde ise bilateral veya sol hemisferin laterizasyonuna yönelik bulgular elde edildiğini belirtmişlerdir (Kotz et al., 2006). Bu bulguları destekler şekilde, Wildgruber ve arkadaşları (2006) tarafından nörogörüntüleme tekniği fMRI ile yapılan duygusal prozodi araştırmalarının incelendiği derlem (review) çalışmasında duygusal prozodinin sağ hemisferde laterize olduğu belirtilmiş (D Wildgruber et al., 2006), ancak Arsic (2008) tarafından yapılan elektrofizyolojik incelemede bu dizgenin beynin her iki yarım küresinde de çift yönlü olarak işlemlendiği gösterilmiştir (Arsic, 2008)” (Bayazıt 2018:84-86).

Türkçe konuşma dilinde duygusal prozodi ve sözel bileşenlerin incelendiği bu çalışmada ise henüz kullanımı yaygınlaşmamış olan ancak dil ve dilbilim araştırmaları için oldukça uygun olduğu düşünülen fNIRS tekniğinden yararlanılmış ve elde edilen bulgular duygusal prozodi için güçlü bir sağ hemisfer laterizasyonu göstermiştir. Bununla birlikte bulgularımız konuşma uyarılarına (speech stimuli) bağlı olarak seslerin beyinde işlenmesi sırasında sol hemisferin primer ve sekonder korteksi ile arka üst temporal kortekste de (superior temporal cortex) aktivasyon göstermiştir. Ancak anadili İngilizce olan ve hiç Türkçe bilmeyen bireylerde sadece Türkçe sözcüklerden oluşan uyarıların algılanmasında sol hemisferde anlamlı bir aktivasyon gözlenmemiştir. Türkçe ve İngilizcede ortak kullanılan sözcüklerden oluşan uyarılarda ise tüm katılımcılarda beynin sol hemisferinde güçlü aktivasyon tespit edilmiştir. Bu bulgular Buchanan ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan fMRI çalışmasının bulgularıyla da benzerlik göstermektedir. İngilizce duygusal prozodinin beyindeki işleyişinin araştırıldığı çalışmada yazarlar örneklem grubuna anlamsız 86 sözcükler (pseudo verbs) ile İngilizcede semantik karşılığı olan sözcüklerden oluşan duygusal prozodik sesleri dinlettirmişler ve beyindeki aktivasyonu incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda yazarlar anlamsız sözcüklerden oluşan uyarılarda baskın olarak sağ hemisferin frontal ve temporal alanlarında, semantik karşılığı olan uyarılarda ise sol hemisferin arka üst temporal bölgesinde belirgin aktivasyon olduğunu belirtmişlerdir (Buchanan et al., 2000). Bu bulgular, duygusal prozodi dizgesinin beyinde algılanma ve işleme sürecinde dil sisteminin diğer bileşenlerini de kapsayacak şekilde bir yapılanma içerdiğini göstermektedir.

Duygusal prozodinin beyindeki işleme sürecine ilişkin literatürde genellikle arka üst temporal kortekse dikkat çekilmekte ve laterizasyon tartışmaları yapılmaktadır (Belyk & Brown, 2013). Bu tartışmalarda daha çok laterizasyon çalışmaları için fenomen hale gelmiş olan fMRI tekniğinin

kullanılması, ancak tekniğin en büyük dezavantajı sayılan gürültü sorunu nedeniyle sağlam kanıtlara dayalı laterizasyonun yapılamadığı belirtilmektedir (Alba-Ferrara et al., 2011; Belyk & Brown, 2013; Kim, Seo, Jeon, Lee, & Lee, 2017). Bu anlamda, fMRI'a göre daha kolay tekrarlanabilir ölçüm yapma olanağı sunan ve herhangi bir gürültü problemi olmayan fNIRS tekniğini kullandığımız bu çalışmanın bulgularının, duygusal prozodinin arka üst temporal korteksteki laterizasyonuna ilişkin daha net fikirler verdiği söylenebilir. Bulgularımız işitsel duygusal prozodinin algılanması sürecinde arka üst temporal kortekste güçlü bir sağ laterizasyon olduğunu göstermiştir. Bu bulgu Plichta ve arkadaşları (2011)'nin ifade ettikleri beynin sağ yarım küresinin duyguların yavaş değişen akustik profillere daha duyarlı olduğu bulgusuyla tutarlık göstermektedir (Plichta et al., 2011). Yine verilerimiz duygusal prozodik uyarıların sesletilmesi sırasında da primer ve sekonder işitme korteksi ile arka temporal girüste sol laterizasyon göstermiştir. Bu da hızlı değişen fonetiklerin analizi için sol hemisferin daha iyi bir şekilde donatıldığı fikriyle örtüşmektedir (Kotz et al., 2013; Schirmer & Kotz, 2006; D Wildgruber, Ackermann, Kreifelts, & Ethofer, 2006, Bayazit, 2018).

Üst temporal korteksin, primer işitsel korteks ve orta temporal korteks (middle temporal cortex) gibi alt düzey yapıları işitsel ifadelerde akustik özellikleri çözümlerken, daha yüksek düzeydeki yapıları deşifre edilmiş işitsel özellikleri bütünleştirmekte ve vokal ifadelerin algılanmasını sağlamaktadır (Schirmer & Kotz, 2006). Bu savı destekler şekilde çalışmamızda da Türkçe konuşma prozodisinin sessizliğin tersine sol birincil işitme korteksini (BA 42) aktive ettiği; duygusal prozodinin ise nötr sözel ifadelerin aksine sağ üst temporal girüste (orta ve arka BA 22/42) aktivasyon gösterdiği bulunmuştur. Benzer şekilde Ethofer ve arkadaşları (2011) tarafından yapılan fMRI görüntüleme çalışmasında da sağ üst temporal girüsün sadece duygusal seslerin alanını oluşturan yapı olduğu, konuşma diline ait duygusal sesletimlerin ise nötr vokal seslere nazaran ön (anterior), birincil ve ikincil işitme korteksinin bulunduğu orta ve arka (posterior) bölümlerde güçlü aktivasyona neden olduğu tespit edilmiştir (Ethofer et al., 2011).

Çalışmamızda elde edilen bulgular duygusal değerliliğe (emotional valence) bakılmaksızın Türkçede konuşma prozodisinin üst temporal girus, primer ve sekonder işitme korteksinin uzandığı orta temporal girus ve temporal sulkusu kapsayan üst temporal kortekste kodlandığını göstermiştir. Bu bulgu, daha önce üst temporal kortekste prozodinin duygusal değerliliği ve beyin aktivasyonu arasındaki bağımlılığı inceleyen U- biçimli (U- shaped) pek çok çalışmayla da örtüşmektedir (Frühholz, Ceravolo, & Grandjean, 2011; Wiethoff et al., 2008; Zhang et al., 2018). Ancak çalışmamızda frontal kortekste, BA 9 ve BA 10, iki kanalda prozodiye yanıt olarak deaktivasyon (aktivasyon düşüşü) gözlenmiştir. Söz konusu bu alan, daha önce fMRI çalışmalarında aktivasyon gözlemlendiği rapor edilen medial prefrontal kortekse yakın olmakla birlikte tam olarak burayla eşleşmemektedir (akt. Zhang et al.,2018).

Frontal korteksin konuşma prozodisi ile farklı duygu kategorilerini ayırdığı bilinmektedir (Belyk & Brown, 2013; Bortfeld, Fava, & Boas, 2009). Çalışmamızda alan için özgün olduğunu düşündüğümüz bulgularımızdan biri mutlu, korku ve sinirli duygu durumlarını yansıtan Türkçe konuşma prozodisinin sol inferior frontal girüste yer alan pars triangularis (BA 45) ve frontal göz alanlarında (frontal eye field) (BA 8) yüksek aktivasyon gözlemlenmesidir. Daha önceki çalışmalarda pek çok defa inferior frontal girüsün semantik kavramada önemli rol oynadığına dikkat çekilmiştir (Goucha & Friederici, 2015; Schirmer & Kotz, 2006). Literatürle örtüşür şekilde bulgularımız, Türkçe konuşma dilindeki duygusal prozodinin inferior frontal girüste semantik işlemeye yönelik yüksek aktivasyon göstermiştir. Ayrıca çalışmamızda şaşırtıcı bir şekilde korku ve sinirli duygu durumlarına nazaran mutlu duygu durumunu yansıtan Türkçe konuşma prozodisinin inferior frontal girüste semantik işlemeye yönelik daha yüksek aktivasyon gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum katılımcıların pasif dinleyici olmalarına rağmen, korkulu ve sinirli duygu durumlarının aksine mutlu duygu durumunu yansıtan prozodik konuşmayı anlamaya motive oldukları şeklinde yorumlanabilir.

Çalışmamızda ilginç bir şekilde sözel duygusal prozodinin algılanması sürecinde nötr ve korku duygu durumunu yansıtan sözel prozodik ifadeler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir beyin aktivasyonu gözlenmemiştir. Oysa Liebenthal ve arkadaşları (2016) ile Iredela ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmalarda nötr ve korku içerikli görsel duygusal uyarıların hızlı bir şekilde beynin amigdala ve oksipito-temporal bölgelerinde aktivasyona neden olduğu bildirilmiştir. Bu durumda sözel duygusal prozodi sürecinin biyolojik olarak belirgin bir ipucu ifade etmediği düşünülebilir çünkü bu sürecin perde, ses yüksekliği ve ritim gibi ince taneli özellikleri (fine-grained features) belirli bir zaman

ölçeğinde gelişmektedir (Belyk & Brown, 2013). Ayrıca fNIRS tekniğinde korteksten 3 cm ye kadar veri alınabildiği için yapılan ölçümler de bu derinlikle sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla amigdaldan veri elde edilememesi büyük oranda cihazın bu teknik sınırlılığı ile ilgili olabilir.

Gerek yöntemsel açıdan gerekse Nörodilbilimsel açıdan Türkçeye ilişkin literatürde öncü araştırmalardan biri olma niteliği taşıyan bu çalışma, Türkçe konuşma dilinde duygusal prozodinin dil sisteminin bütünüyle ilişkili olduğunu, dilin tüm küçük ölçekli bileşenleri ile birlikte işlendiğini ve bu iki ögenin birbirinden bağımsız olarak ele alınamayacağını ortaya koymuştur. Dolayısıyla verilerimiz Türkçe konuşma dilinde duygusal prozodinin beynin her iki yarım küresinde de çift yönlü olarak işlendiğini göstermiştir.

KAYNAKÇA

Alba-Ferrara, L., Hausmann, M., Mitchell, R. L., & Weis, S. (2011). The neural correlates of emotional prosody comprehension: disentangling simple from complex emotion. *PLoS One*, 6(12), e28701.

Bayazıt, Z.Z.(2018). Türkçe Konuşma Dilinde Duygusal Prozodi ve Sözel Bileşenlerin İncelenmesine Yönelik Nörodilbilimsel Bir İnceleme.Yayımlanmamış Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Belyk, M., & Brown, S. (2013). Perception of affective and linguistic prosody: an ALE meta-analysis of neuroimaging studies. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(9), 1395-1403.

Bortfeld, H., Fava, E., & Boas, D. A. (2009). Identifying cortical lateralization of speech processing in infants using near-infrared spectroscopy. *Developmental neuropsychology*, 34(1), 52-65.

Brück, C., Kreifelts, B., & Wildgruber, D. (2011). Emotional voices in context: a neurobiological model of multimodal affective information processing. *Physics of Life Reviews*, 8(4), 383-403.

Buchanan, T. W., Lutz, K., Mirzazade, S., Specht, K., Shah, N. J., Zilles, K., & Jäncke, L. (2000). Recognition of emotional prosody and verbal components of spoken language: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 227-238.

Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., . . . Soya, H. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *Neuroimage*, 98, 336-345.

Cancelliere, A. E., & Kertesz, A. (1990). Lesion localization in acquired deficits of emotional expression and comprehension. *Brain and cognition*, 13(2), 133-147.

Cope, M., & Delpy, D. T. (1988). System for long-term measurement of cerebral blood and tissue oxygenation on newborn infants by near infra-red transillumination. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 26(3), 289-294.

Darby, D. G. (1993). Sensory aprosodia A clinical clue to lesions of the inferior division of the right middle cerebral artery? *Neurology*, 43(3 Part 1), 567-567.

Essenpreis, M., Elwell, C., Cope, M., Van der Zee, P., Arridge, S., & Delpy, D. (1993). Spectral dependence of temporal point spread functions in human tissues. *Applied optics*, 32(4), 418-425.

Ethofer, T., Bartscher, J., Gschwind, M., Kreifelts, B., Wildgruber, D., & Vuilleumier, P. (2011). Emotional voice areas: anatomic location, functional properties, and structural connections revealed by combined fMRI/DTI. *Cerebral Cortex*, 22(1), 191-200.

Friederici, A. D., & Alter, K. (2004). Lateralization of auditory language functions: a dynamic dual pathway model. *Brain and Language*, 89(2), 267-276.

Frühholz, S., Ceravolo, L., & Grandjean, D. (2011). Specific brain networks during explicit and implicit decoding of emotional prosody. *Cerebral Cortex*, 22(5), 1107-1117.

Frühholz, S., Trost, W., & Kotz, S. A. (2016). The sound of emotions—Towards a unifying neural network perspective of affective sound processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, 96-110.

- Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: a functional segregation within Broca's Area. *Neuroimage*, *114*, 294-302.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A.-C., & Fallgatter, A. J. (2003). Prefrontal activation through task requirements of emotional induction measured with NIRS. *Biological psychology*, *64*(3), 255-263.
- Hughlings Jacksons, J. (1878). On affections of speech from disease of the brain. *Brain*, *1*, 304-330.
- Kim, H. Y., Seo, K., Jeon, H. J., Lee, U., & Lee, H. (2017). Application of Functional Near-Infrared Spectroscopy to the Study of Brain Function in Humans and Animal Models. *Molecules and cells*, *40*(8), 523.
- Kotz, S. A., Kalberlah, C., Bahlmann, J., Friederici, A. D., & Haynes, J. D. (2013). Predicting vocal emotion expressions from the human brain. *Human brain mapping*, *34*(8), 1971-1981.
- Laird, A. R., Robinson, J. L., McMillan, K. M., Tordesillas-Gutiérrez, D., Moran, S. T., Gonzales, S. M., . . . Fox, P. T. (2010). Comparison of the disparity between Talairach and MNI coordinates in functional neuroimaging data: validation of the Lancaster transform. *Neuroimage*, *51*(2), 677-683.
- Lancaster, J. L., Tordesillas-Gutiérrez, D., Martinez, M., Salinas, F., Evans, A., Zilles, K., . . . Fox, P. T. (2007). Bias between MNI and Talairach coordinates analyzed using the ICBM- 152 brain template. *Human brain mapping*, *28*(11), 1194-1205.
- Leff, D. R., Elwell, C. E., Orihuela-Espina, F., Atallah, L., Delpy, D. T., Darzi, A. W., & Yang, G. Z. (2008). Changes in prefrontal cortical behaviour depend upon familiarity on a bimanual co-ordination task: an fNIRS study. *Neuroimage*, *39*(2), 805-813.
- Liebenthal, E., Silbersweig, D. A., & Stern, E. (2016). The language, tone and prosody of emotions: neural substrates and dynamics of spoken-word emotion perception. *Frontiers in neuroscience*, *10*, 506.
- Plichta, M. M., Gerdes, A. B., Alpers, G. W., Harnisch, W., Brill, S., Wieser, M. J., & Fallgatter, A. J. (2011). Auditory cortex activation is modulated by emotion: a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Neuroimage*, *55*(3), 1200-1207.
- Ross, E. D. (1981). The aprosodias: Functional-anatomic organization of the affective components of language in the right hemisphere. *Archives of neurology*, *38*(9), 561-569.
- Schirmer, A., & Kotz, S. A. (2006). Beyond the right hemisphere: brain mechanisms mediating vocal emotional processing. *Trends in cognitive sciences*, *10*(1), 24-30.
- Singh, A. K., Okamoto, M., Dan, H., Jurcak, V., & Dan, I. (2005). Spatial registration of multichannel multi-subject fNIRS data to MNI space without MRI. *Neuroimage*, *27*(4), 842-851.
- Van Lancker, D. (1980). Cerebral lateralization of pitch cues in the linguistic signal. *Research on Language & Social Interaction*, *13*(2), 201-277.
- Wiethoff, S., Wildgruber, D., Kreifelts, B., Becker, H., Herbert, C., Grodd, W., & Ethofer, T. (2008). Cerebral processing of emotional prosody—influence of acoustic parameters and arousal. *Neuroimage*, *39*(2), 885-893.
- Wildgruber, D., Ackermann, H., Kreifelts, B., & Ethofer, T. (2006). Cerebral processing of linguistic and emotional prosody: fMRI studies. *Progress in brain research*, *156*, 249-268.
- Wildgruber, D., Ethofer, T., Grandjean, D., & Kreifelts, B. (2009). A cerebral network model of speech prosody comprehension. *International Journal of Speech-Language Pathology*, *11*(4), 277-281.
- Zhang, D., Zhou, Y., & Yuan, J. (2018). Speech Prosodies of Different Emotional Categories Activate Different Brain Regions in Adult Cortex: an fNIRS Study. *Scientific reports*, *8*(1), 218.
- Zhu, H., Fan, Y., Li, X., Huang, D., Guo, H., & He, S. (2015). *Some Effects of Specific Interest on the Brain of Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Functional Near-infrared Spectroscopy Study*. Paper presented at the Progress in Electromagnetics Research Symposium.