

An Overview of the Brain Imaging Techniques from the Education Perspective

Esra KELEŞ* Elvan KOL**

ABSTRACT: Brain imaging techniques provide information to the researchers about the structure and the operation of the brain. With this research, it was aimed to gain educators a different point of view regarding to the brains imaging techniques' contribution to the education. The brain imaging techniques were grouped into three categories as structural, functional and metabolic. In this research the techniques used in brain imaging have been introduced with the help of literature and brain imaging examples conducted at different fields (mathematics, music, reading and linguistic skill) have been presented. It was also assumed that brain imaging techniques could also be used in education and this could contribute educators to understand how learning occurs and determine the learning difficulties.

Key Words: Neuroscience, Education, Brain imaging techniques, Brain Researches

SUMMARY

Purpose and Significance: This study aims to gain different perspectives to educators related to contribution of brain imaging techniques to education. Brain imaging techniques have been used in studies in the field of neuroscience and they provide information to researchers about the structure and operation of the brain. In this study, we tried to show that brain imaging techniques may be used as a medical technique in educational researches and contributions of it to this field.

Resources: Current brain imaging techniques, by benefiting from the literature, are classified to three categories as structural (CT, MRI), functional (EEG, PET, SPECT, fMRI, MEG, TMS) and metabolic (MRS). Structural brain imaging technique is used more to detect disease, fails to provide enough information about short-lasting changes in brain. Functional brain imaging technique provides enough information about short-lasting changes in brain. Metabolic brain imaging techniques, on the other hand, provides to obtain information about the measurement of metabolic changes and when looking at literature, it is seen that these are at the same time taken part as functional brain imaging techniques. In this study, it is introduced samples related to brain imaging techniques in different fields of education (mathematic, music, reading, linguistic skill etc.).

Results: In researches examined within this context, it has been concluded that there are studies in the direction of mathematics education, music effects on academic achievement, reading and language skills. For example, the last few years, brain imaging techniques are used to learn about neural development in children regarding to reading and language skills. Diagnosis of phonological processing and word-related neural networks have been identified by combining the findings obtained from different brain imaging techniques (PET, fMRI, MEG) in the area of reading. When realizing this process, it is examined neural activity of children who have high and low reading achievements and found that there are significant differences among them. As a result of this study, besides the idea that the problem is biologically based, it has been identified that there are complex interactions between reading area located in the brain and social environment. Recently scientists have conducted a study by using brain imaging techniques on people who are mathematic phobia. As a result of this study, it is concluded that people who are mathematic phobia can overcome this fear and can be successful.

Conclusions: At the end of this study, besides the medical field in which brain imaging techniques are used primarily, it is thought that they also can be used in the field of education: understanding how learning occurs and identifying learning difficulties. Although there are studies in the literature about the use of brain imaging techniques in educational research studies, their numbers should be increased. In the field of education collaborative work by researchers who have been studying microscopic and technical dimension of brain imaging in areas such as medicine and electrical-electronic can be a guide to new studies in this direction.

*Yrd.Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, Trabzon, esrakeles@ktu.edu.tr

**Yüksek Lisans Öğrencisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enst., Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri ABD, Trabzon, elvankol61@hotmail.com

Eğitim Penceresinden Beyin Görüntüleme Tekniklerine Genel Bir Bakış

Esra KELEŞ*, Elvan KOL**

Z: Beyin görüntüleme teknikleri beynin yapısı ve işleyişi hakkında araştırmacılara bilgi sağlamaktadır. Bu alışma ile beyin görüntüleme tekniklerinin eğitime sağlayabileceği katkılara ilişkin, eğitimcilere farklı bir bakış açısı kazandırmak amaçlanmıştır. Günümüzde kullanılan beyin görüntüleme teknikleri alanyazından yararlanarak; yapısal, işlevsel ve metabolik olmak üzere üç kategoride gruplandırılmıştır. Bu çalışmada beyin görüntülemede kullanılan teknikler alanyazın yardımıyla tanıtılmış, farklı alanlarda (matematik, mzık, okuma ve dil becerisi vb) yapılan beyin görüntüleme çalışmalarına ilişkin örnekler sunulmuştur. Beyin görüntüleme tekniklerinin eğitim alanında kullanılabileceği, bunun öğrenmenin nasıl gerçekleştiğini anlama ve öğrenme güçlüklerini tespit etmede eğitimcilere katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Nörobilim, Eğitim, Beyin Görüntüleme Teknikleri, Beyin Araştırmaları

GİRİŐ

Yunan uygarlığının başından itibaren Yunan bilim adamlarının arasında insanın düşünce, bilişsel aktivite mekanizması ve duygular, algı ve istemli hareketlerin doğasının kaynağı gibi birçok durum tartışılmıştır. M. altıncı yüzyıldan ikinci yüzyıla kadar ruhun özü, aklın konumu ve nörolojik ve psikiyatrik hastalıkların nedenleri ile ilgili sorunların çözümü in çeşitli önerilerde bulunulmuştur (Crivellato ve Ribatti,2007).

Antik dönem yazarlarından birisi olan Aristo yaptığı çalışmaların sonucunda o dönemin diğer yazarlarının aksine, duyuların ve hareketin merkezinin kalp olduğunu belirtmiştir. O dönemde insanlar üzerinde anatomik incelemeler yapmak yasak olduğundan, Aristo da elde ettiği tüm sonuçlara hayvanlar üzerinde yaptığı diseksiyonlarla (hücre dokusunun kesilip incelenmesi) ulaşmıştır. Aristo'dan sonra Mısır İskenderiye'de Herophilus ve Erasistratos tarafından insanlar üzerinde diseksiyon çalışması yapılmıştır. Bu dönemden sonra 15. yüzyıla kadar insanlar üzerinde anatomi çalışması yapılmamıştır. İlk gerçeğe yakın fizyolojik ve anatomik tespitler antik Yunan döneminde (İskenderiye) bulunmuştur(Karasu, Aygen, Sabancı, Civelek ve Eskandar 2008). Herophilus ve Erasistratos yaptıkları anatomi çalışmalarında daha çok nöral fonksiyonun çalışması ve fikirlerin fiziksel uygulanmasıyla ilgilenmişlerdir. Aynı zamanda insan beynindeki boğum sayısının zekâ düzeyiyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Gross, 1987).

Antik Yunan'da yapılan beyin çalışmalarını ve görüntüleme tekniklerini daha iyi anlama açısından nörobilim hakkında genel bir bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Nörobilim (sinir bilim), sinir sisteminin araştırılmasına dayalı bir bilim dalıdır. Nörobilim, sinir sitemini; moleküler, hüresel, gelişimsel, işlevsel, matematiksel vb. gibi açılardan ele almaktadır (URL-1). Nörobilimin tarihi incelendiğinde beyin araştırmalarının temelini, beynin yapısını keşfetmeye yönelik fizyolojik deneylerin oluşturduğu görülmektedir. Bu fizyolojik deneyler ile beyin parçalarına ayrılmış ve beynin fonksiyon ve davranışları belirlenmiştir. Elde edilen bu bilgiler; gözlemler, hayvan otopsipleri ve ameliyatları ve beynin ayrıntılı anatomik çizimlerinin yapılmasını sağlamıştır(Keleş, 2007). Bunların yanında insan zekâsı hakkında bilgi edinmemizi sağlayan nörobilim, eğitim araştırmalarına katkıda bulunmak in büyük bir potansiyele sahiptir (Goswami, 2004). Bu doğrultuda yapılan bu çalışma ile beyin görüntüleme tekniklerinin eğitime ne gibi katkılar sağlayabileceğine ilişkin eğitimcilere farklı bir bakış açısı kazandırmak amaçlanmıştır. Bu alışma ile beyin görüntüleme teknikleriyle ilgili bir derleme çalışması yapılmıştır. İlk olarak kısaca nörobilim ve tarihçesine değinilmiştir. Sonrasında tıpta

*Yrd.Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve ğretim Teknolojileri Bölümü, Trabzon, esrakeles@ktu.edu.tr

**Yüksek Lisans ğrencisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enst., Bilgisayar ve ğretim Teknolojileri ABD, Trabzon, elvankol61@hotmail.com

kullanılan beyin görüntüleme teknikleri alanyazından yararlanılarak tanıtılmaya çalışılmıştır. Daha sonra eğitimde gerçekleştirilen beyin görüntüleme çalışmalarına yer verilmiştir. Bu çalışma kapsamında; eğitim alanında kullanılabilir beyin görüntüleme teknikleri açıklanmış, bu tekniklerin eğitimde nasıl kullanıldığına ilişkin örnek çalışmalar sunulmuş ve bundan sonra eğitim alanında beyin görüntüleme teknikleri kullanılarak nelerin yapılabileceğine dair fikirler öne sürülmüştür.

Elli yıl öncesine kadar nörologlar insan beynini gözlemlemek ve keşfetmek için birkaç teknik kullanmaktaydı. Kullanılan bu teknikler; hücre dokusunun kesilip incelenmesi, EEG kayıtları, insan beyninin öldükten sonra incelenmesi, elektrikle yapılan çalışmalar ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalardan oluşmaktadır (Solso, Maclin ve Maclin, 2011). Sayılan bu tekniklerin çoğu tanımlanmaya gerek duyulmadan anlaşılabilir. Ancak EEG kayıtlarına kısaca değinmek gereklidir.

Elektroensafalografi (Electroencephalography-EEG), 1920'li yıllarda geliştirilen en eski beyin değerlendirme tekniğidir. Bu teknik, kafanın üzerine yerleştirilen elektrotlar yardımıyla beyindeki elektrik sinyallerini kayıt eder (Solso, Maclin ve Maclin, 2011) (*Resim 1*). EEG kayıtları için iki çeşit elektrot bulunmaktadır; birinci elektrot aktiftir ve kayıt alınacak yere yerleştirilir, ikinci elektrot ise referanstır ve kayıt alınacak yerden bağımsız bir noktaya yerleştirilir (Yıldız, 2006). Eski bir teknik olmakla birlikte günümüzde geliştirilerek, tüm epilepsi türlerinde ve özellikle ilaca dirençli epilepsi türlerinde cerrahi müdahale sırasında (Tuna-Erdoğan, 2009) ve uykunun çeşitli safhalarını birbirinden ayırmada kullanılmaktadır (Yıldız, 2006).

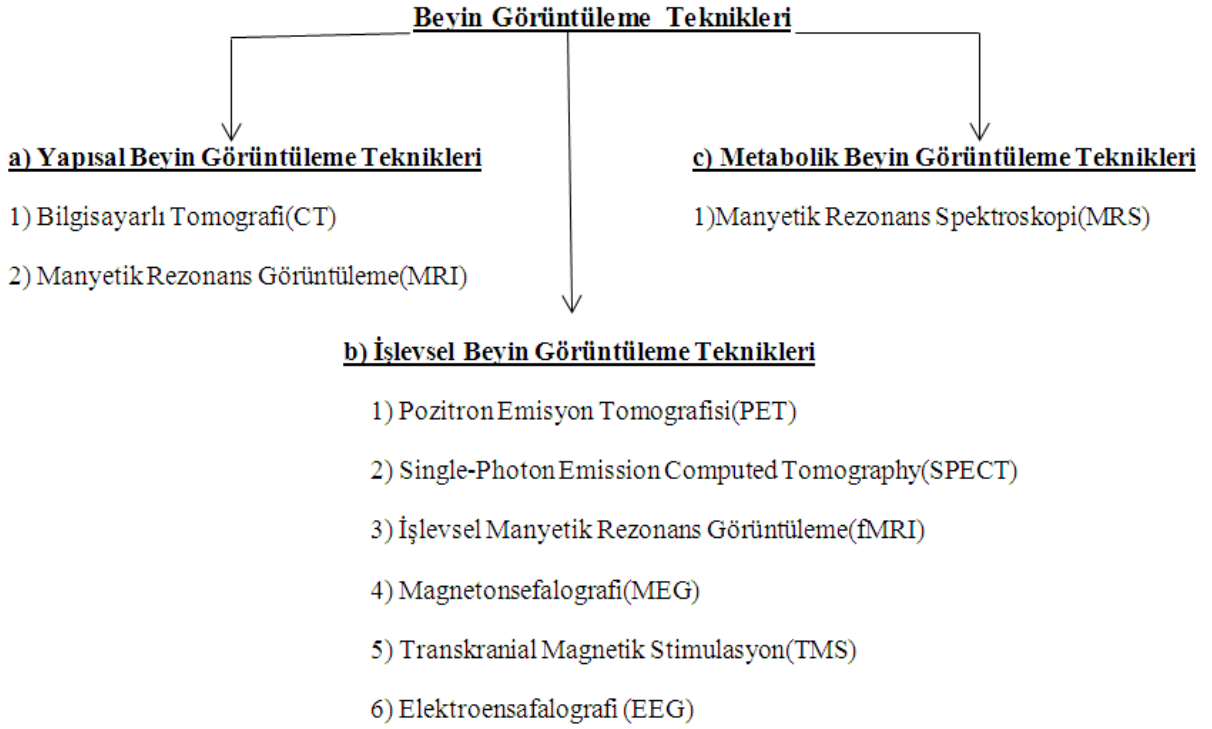


Resim 1. EEG cihazı

Yukarıda sayılan tekniklerden (hücre dokusunun kesilip incelenmesi, EEG kayıtları, insan beyninin öldükten sonra incelenmesi, elektrikle yapılan çalışmalar ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalardan) anlaşılacağı üzere önceki dönemlerde anlık reaksiyon hakkında bilgi edinmeyi sağlayacak beyin görüntüleme teknikleri mevcut değildi. Günümüz beyin görüntüleme tekniklerine baktığımızda ise eski tekniklere nazaran, çok daha pratik ve anlık reaksiyonun sergilenmesini sağladıkları görülmektedir.

Günümüzde kullanılan beyin görüntüleme teknikleri; yapısal, işlevsel ve metabolik olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Birçok yayında işlevsel ve metabolik görüntüleme yöntemleri bir arada ele alınabilmektedir. Ancak metabolik yöntemdeki hızlı gelişmeler ve bu yöntemle psikiyatride elde edilen sonuçların önemi, metabolik yöntemin ayrı bir grupta sınıflandırılmasının uygun olacağını göstermektedir (Ceylan,2012). Buradan yola çıkarak beyin görüntüleme tekniklerinin şemasal gösterimi *Tablo 1* deki gibi gösterilebilir. Bu beyin görüntüleme teknikleri alanyazında çoğunlukla İngilizce isimlerinin baş harfleriyle anılmaktadır. Alanyazına uyumlu olması açısından bu çalışma içerisinde de alanyazındaki kısaltmalar tercih edilmiştir.

Tablo1. Beyin Görüntüleme Tekniklerinin Şema ile Gösterimi



a) Yapısal Beyin Görüntüleme Teknikleri

Yapısal beyin görüntüleme tekniklerinin geliştirilmesi yaklaşık kırk yıl öncesine dayanmaktadır (Morris ve Fillenz, 2003). Bu beyin görüntüleme teknikleri daha çok kişide bulunan hastalığı tespit etmek amacıyla kullanılır, ancak beyindeki kısa süreli değişimler hakkında yeterli bilgiyi sağlayamamaktadırlar. Yapısal beyin görüntüleme 1)bilgisayarlı tomografi ve 2)manyetik rezonans görüntüleme teknikleriyle gerçekleştirilmektedir.

1) Bilgisayarlı Tomografi (Computed Tomography-CT)

X-ışınları görüntüleme çeşitli cihazlarda kullanılmıştır. Günümüzde klinik uygulamalarda en geniş kullanım alanını, 1970'lerde kliniklere giren CT oluşturmaktadır (Işık, Selçuk ve Albayram, 2010). CT, X-ışını kullanılarak vücudun incelenmek istenen bölgesinin kesitsel görüntüsünü oluşturmaya çalışan radyolojik teşhis yöntemidir.

İnceleme sırasında hasta, CT cihazına, hareketsiz kalmak kaydıyla yatırılır



Resim 2. BT cihazı

(Resim2) ve uygun şekilde görüntü almak için masa uygun konuma getirilir. Daha sonra alınan kesitsel görüntüler CT cihazının görüntü bilgisayarlarına işlenerek CT görüntüleri elde edilmiş olur (Ünal, 2008). Özetlemek gerekirse CT cihazı, X ışınları yardımıyla vücuttan yatay kesitler alarak çalışan, tanı ve teşhis cihazı olarak tanımlanabilir. Günümüzde CT kullanımı hızla artmıştır.

Bu artıştaki en büyük etken, CT deki teknolojik gelişimin hızlı olması ve klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasıdır. CT kullanımında çocuklarda ve yetişkinlerde artış olmuştur. Çok kesitli CT teknolojisi ile çekim sürelerinin azalması, çocuklardaki CT kullanımını kolaylaştırmıştır ve artırmıştır (Işık, Selçuk ve Albayram, 2010). Yetişkinlerdeki CT cihazı kullanımı daha çok kanserli dokuların var olup olmadığını tespit etmek için tüm vücut taramalarında rutin olarak kullanılmaktadır. Bir

nevi erken teşhise olanak sağladığı düşünülebilir (Linton ve Mettler, 2003; Brenner ve Elliston, 2004). Bu açıklamalar doğrultusunda, önceden ancak cerrahi müdahale ile erişilebilecek bilgi ve koyulabilecek teşhis ve tanıyı, günümüzde gelişen CT yardımıyla kısa süre içinde elde etmek mümkündür.

2) Manyetik Rezonans Görüntüleme (Magnetic Resonance Imaging-MRI)

Manyetik rezonans, adından anlaşılacağı gibi manyetik titreşim anlamına gelmektedir. Bu cihaz protonların manyetik alan içerisindeki titreşimden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Günümüzde tanı amaçlı kullanılmaktadır (Ünal, 2008). (Resim 3)



Resim 3. Günümüzde kullanılan örnek MRI cihazı

X-ışınları bu teknikte kullanılmadığı için her yaş grubundaki (çocuk, yetişkin vb.) bireylerin beyinlerinin görüntülenmesine imkan sağlamaktadır. MRI, beyin dokusunun çok ince görüntülerini oluşturmada rahatlıkla kullanılabilir. Son zamanlarda geliştirilen MRI'nın bir tekniği olan Difüzyon Tensör Görüntüleme (DTG) tekniği ile beyin bölgelerini bağlayan liflerin beyaz

madde alanlarının ayrıntılı olarak görüntülenmesi sağlanmıştır (Morris ve Fillenz, 2003). Bu yöntem, yapısal MRI yöntemlerine göre daha hassas ve fazla mikro yapısal özellikleri tespit edebilen bir görüntüleme tekniğidir (Kara, Verim ve Akarsu, 2013). Le Bihan'ın (2003) yaptığı çalışmada su difüzyonunun ayrıntılı nöral görüntülemeye izin verdiğini belirtmiştir. Bu çalışma ile DTG'nin Fraksiyonel Anizotropi (FA)'nin ölçülebilmesine olanak sağladığı görülmüştür. FA, su moleküllerinin hareketleri hakkında bize bilgi verir. Örneğin normal olarak su molekülleri akson boyunca miyelin kılıfla paralel hareket ederken; akson zarı, mikrotübül yapısında veya miyelin kılıfta bir bozukluk varsa su moleküllerinin akson boyunca hareketleri de bozulur ve bu durumun göstergesi FA'dır (Kitiş, Eker, Zengin, Yılmaz, Yalvaç, Özdemir, Haznedaroğlu, Bilgi ve Gönül, 2011). MRI'nın bir diğer tekniği olan Manyetik Transfer Görüntüleme ise beyinde hacim kaybı olmasa dahi miyelin ve aksonal anormalliklerin saptanmasını sağlamaktadır (Kara, Verim ve Akarsu, 2013). MRI, görüntüleme yüksek başarı elde ederken, tanı koymada aynı başarıyı elde edememektedir. Çünkü bazı patolojik dokuların sinyal özellikleri birbirleriyle benzerlik göstermektedir (Ünal, 2008). Günümüzde MRI teknikleri; psikiyatrik bozukluklarda, şizofrenide, nöroanatomik değişikliklerde, duyu durum bozuklukları gibi sorunlarda da kullanılmaktadır (Ceylan, 2012). Bu görüntüleme yöntemi beyin ve çevresinde oluşan problemlerin tespitinin yanında diğer durumlarda da kullanılmaktadır. Örneğin 1990 yıllarının başından itibaren MRI tekniği meme lezyonlarında (doku bozukluğu) da kullanılmaya başlanmıştır (Çelik ve Çubuk, 2010).

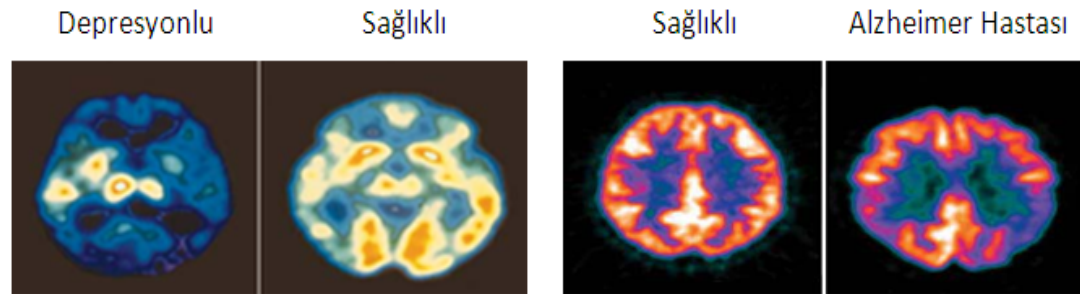
b) İşlevsel Beyin Görüntüleme Teknikleri

Dikkat, bellek ve dil gibi bilişsel işlevlerin, beyindeki karşılıkları oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve karmaşık olan bu süreci yapısal görüntüleme yöntemleriyle tespit etmek mümkün olmamaktadır. Çünkü yapısal görüntüleme yöntemleri, insan beynindeki kısa süreli değişiklikler hakkında bilgi sağlayamamaktadır (Çiçek, 2008). Medikal fizikçilerin yakın zamanda işlevsel görüntüleme tekniklerinde gerçekleştirdikleri gelişmeler ise özel bir ilgi görmüştür. Çünkü bu görüntüleme teknikleri bizlere kafatasının içini görme, düşünürken ve bir şeyler öğrenirken, hatta rüya görürken bile beynimizde neler olduğunu inceleme imkânı sunmaktadır (Morris ve Fillenz, 2003). İşlevsel görüntüleme teknikleri, günümüzde psikiyatrik ve nörolojik hastalıkların tanısı ve nedenlerinin anlaşılması için kullanılmaktadır (Çiçek, 2008). İşlevsel beyin görüntüleme tekniklerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Günümüzde sık kullanılan işlevsel görüntüleme tekniklerini; 1) Pozitron Emisyon Tomografisi, 2) Single-Photon Emission Computed Tomography, 3) İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme, 4) Magnetensefalografi, 5) Transkraniyal Magnetik Stimulasyon ile gerçekleştirilmektedir. İşlevsel

görüntüleme tekniklerinden bir diğeri de EEG olup bu tekniğe ilişkin ayrıntılar yukarıda aktarılmıştır.

1) Pozitron Emisyon Tomografisi (Positron Emission Tomography-PET)

Geliştirilen ilk işlevsel tekniktir (Morris ve Fillenz, 2003). İşlevsel görüntülemede son on beş yıla kadar en sık kullanılan tekniktir (Çiçek, 2008). PET, pozitron yayan radyoaktif maddelerin vücuda enjekte edildikten sonra uğradıkları dağılımı görüntülemek amacıyla dokuların ve organların metabolizma ile kan akımı gibi fizyolojik özelliklerini ve bunların çeşitli patofizyolojik koşullar içinde uğradığı değişimleri değerlendirebilen nükleer tıp tekniğidir (Gökçora ve Akdemir, 2002). PET yöntemi yaygın olarak; Alzheimer hastalığının tanısında, ilişki bozukluklarında (Huy, Karakter vb.) (Frey, Minoshima ve Kuhl, 1998) ve diğer demans (düşünce bozukluğu, bunama, unutkanlık) tiplerinin ayırıcı tanısında, ayrıca cerrahi tedavi gerektiren medikal tedaviye dirençli epileptik (epilepsi, sara hastası) durumların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Gökçora ve Akdemir, 2002). *Resim 4*'te sağlıklı ve bunalım geçiren bir beyin ve *Resim 5*'te sağlıklı ve Alzheimer hastası olan bir beyinin örnek PET görüntüleri yer almaktadır.



Resim 4. Depresyonlu ve Sağlıklı Beyin

Resim 5. Sağlıklı ve Alzheimer Hastası Beyin

Birçok alanda kullanılabilen PET yöntemi, maalesef radyoaktif iz element enjeksiyonunu gerektirdiği için çocuklar ve doğurganlık yaşındaki kadınlarda kullanılamamaktadır (Morris ve Fillenz, 2003). Günümüzde anatomik görüntüler ile PET görüntülerini birlikte yapabilen sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler PET/ CT; Pozitron Emisyon Tomografi ile Bilgisayarlı Tomografi tarayıcılarının kombinasyonu sonucu oluşmuştur (Brady, Taylor, Haynes, Whittaker, Mullen, Clews, Partridge, Hicks ve Jamie, 2008). Bu görüntüleme yönteminde PET, vücudun fonksiyonu hakkında bilgi toplarken, CT vücuttaki normal ve patolojik dokuların anatomik detayını göstermektedir (Savaş, 2010).

2) Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

SPECT, işlevsel görüntüleme tekniklerinin en eskilerden birisidir (Ceylan, 2012). Bu teknik bölgesel beyin perfüzyonunu (beyin kan akımının bölgesel olarak nasıl olduğunu) gösteren, radyoaktif bir bileşiğin beyinde üç boyutlu dağılımının tomografik görüntüleri için kullanılmakta ve beyinin değişik bölgelerinden, perfüzyona paralel olarak gri cevhere yerleşmiş radyoaktif bileşiğin yaydığı fotonların kaydedilmesi sonucu gerçekleştirilmektedir.



Resim6. SPECT cihazı

Bölgesel beyin perfüzyonu, bölgesel glukoz metabolizmasıyla ilgili olmuş olsa da nöronal metabolizmanın ölçümüne direk ulaşamamaktadır. SPECT için işaretlenmiş bileşikler arasında, beyin perfüzyon çalışmalarında kullanılabilecek bileşikler bulunmaktadır (Gökçora ve Akdemir, 2002) (*Resim 6*).

Özetle bu teknik, beyin üç-boyutlu görüntülerinin elde edilmesiyle, beyinde gerçekleşen işlevlerin araştırmacı tarafından değerlendirilmesine olanak sağlayan bir nükleer tıp görüntüleme tekniğidir.

3) İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme (Functional Magnetic Resonance Imaging-fMRI)

MR görüntüleme teknolojisinin önemli uygulamalarından birisi olan fMRI, beyin fonksiyonunun görüntülenmesini sağlar. Bu teknik, kandaki oksijen bağlı hemoglobin ile oksijenini yitirmiş hemoglobinin (deoksihemoglobin) manyetik özelliklerindeki farklılığa dayanmaktadır ve bu yüzden fMRI sinyaline Kan Oksijenasyon Düzeyine Bağımlı Sinyal



Resim 7. Örnek bir fMRI Cihazı

(Blood-Oxygenation-Level-Dependentsignal- **BOLD**) adı verilmiştir (Morris ve Fillenz, 2003). fMRI zaman içinde kan oksijenlenmesinin değişimini ölçtüğü için araştırmacılara beyindeki fonksiyonlar hakkında saniye saniye bilgi verir ve etkinliğin bulunduğu yerin milimetrik olarak

belirlenmesine imkân sağlar (Çiçek, 2008). Resim 7’de örnek fMRI cihazı görülmektedir. fMRI sayesinde PET’e göre daha kaliteli görüntüler elde edilebilir ve işlevsel özellikler bireyin beyindeki gerçek konumlarına göre gösterilebilir. Ayrıca diğer tomografi tekniklerine göre daha fazla zamansal ayrışım (vakitten kazanç) sağlamaktadır (Ceylan, 2012). Son zamanlarda fMRI psikiyatrik araştırmalar için umut vaat etmektedir, çünkü fMRI uzun vadeli öğrenmelerimizin yanında hafızamızdaki kısa süreli durumların (halüsinasyonlar veya hayaller) etkilerini gözlemlemeye olanak sağlamaktadır (David, Blamire ve Breiter, 1994).

4) Magnetensefalografi (Magnetoencephalography-MEG)

Bu teknik beyin faaliyetini üreten manyetik alanların bulanıklığını tespit edip, kafanın dışından beyinde gerçekleşen etkileri ölçmede kullanılır. Yani MEG beyin işlevsel görüntüsünü ya da faaliyet haritasını elde etmeyi sağlar (Solso, Maclin ve Maclin, 2011). Aynı zamanda elde edilen MEG desenleriyle beyin en muhtemel aktivasyon alanları saptanabilir (Hari ve Kujala, 2009). Bilinen beyin görüntüleme yöntemlerine göre MEG beyin aktivitelerini milisaniyeye ölçebilmekte ve milimetrik hassasiyet düzeyinde nöronal faaliyetlerini gösterebilmektedir (Orrison, 1999).

5) Transkranyal Magnetik Stimulasyon (Transcranial Magnetic Stimulation-TMS)



Resim 8. Örnek bir TMS cihazı

Yeni bir teknik olan TMS, algısal ve bilişsel yani algılama ve düşünme esnasında beyin elektriksel faaliyetlerindeki değişiklikleri daha iyi saptamak için EEG ve MEG ile birlikte kullanılmaktadır. Kafaya yerleştirilen bir çubuk yardımıyla manyetik yük kısa zamanda beyinde belli bir alana yönlendirilmekte ve bu yük MEG ve EEG çıktıları olarak görülmektedir (Solso, Maclin ve Maclin, 2011). Resim 8’de örnek cihaz gösterilmiştir.

c) Metabolik Beyin Görüntüleme Teknikleri

Metabolik görüntüleme teknikleri, genellikle işlevsel görüntüleme teknikleriyle birlikte incelenmektedir (Ceylan, 2012). Tam anlamıyla metabolik ve işlevsel görüntüleme teknikleri ayrılmamıştır. Genel olarak bakıldığında metabolik görüntüleme tekniklerine işlevsel görüntüleme tekniklerinin içinde yer verilmektedir.

1) Manyetik Rezonans Spektroskopisi (Magnetic Resonance Spectroscopy-MRS)

MRS, beyin dokularındaki çeşitli metabolitlerin konsantrasyonunu ölçebilen (Kara, Verim ve Akarsu, 2013) ve aynı zamanda farklı hastalıklarda örneğin; X-ALD (X-linked adrenoleukodystrophy) olan hastalarda



Resim 9.Örnek bir MRS Cihazı

(Eichler, Itoh, Barker, Mori, Garrett, Zijl, Moser, Raymond ve Melhem, 2002) ve AD (Alzheimer's Disease) de (Valenzuela ve Sachdev, 2001) hücrese düzeyde metabolit değışiklikleri gösterebilen görüntüleme tekniğidir. Ayrıca MRS, farklı hastalıklarda gerçekleşen hücrenin membran (zar) metabolizması, enerji ve nöroaksonal (beyinciğın işleviyle ilgili)

durumu hakkında klinisyenlere önemli bilgiler sağlamaktadır (Alkan, Kutlu, Aslan ve Yakıcı, 2004). Resim 9'da örnek MRS cihazını görebilirsiniz.

Görüntüleme tekniklerinin yanında kimyasal yapıyı belirlemeye yardımcı olan "spektroskopi" kavramı, ilk olarak 1978'de fare beyinde fosfor metabolizmasının incelenmesiyle canlılarda kullanılmıştır. MRS milimolar (mM- derişim birimi) düzeydeki moleküllerin dağılımlarını inceleyen, çoğu zaman membranfosfolipid metabolizmasında yer almış veya yüksek enerjili fosfat moleküllerinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Ceylan, 2012). Alkan ve ark. (2004) yaptıkları çalışma sonucunda, "rutin MRI incelemesinde bazı bölgelerde tutulum saptanmamasına rağmen metabolit değışikliklerin MR spektroskopi ile gösterilebileceğİ sonucuna" varmışlardır. Yani MRI beyin dokusunun çok ince görüntülerini oluşturmada rahatlıkla kullanılabilse de metabolit (metabolizmanın ürünleri ve ara ürünleri kapsayan moleküller) değışikliklerin ölçümü için MRS daha uygun bulunmuştur.

Günümüzde kullanılan beyin görüntüleme teknikleri incelendiğinde, bu görüntüleme tekniklerinin her birinin birbiriyle bağlantılı olduğı görülmektedir. Her yeni görüntüleme cihazının bir diğİrinin türevi gibi olduğı söylenebilir. Özetle, beyin görüntüleme teknikleri arasındaki farkın, zaman ile ortaya çıkan ihtiyaç doğrultusunda eldeki beyin görüntüleme tekniğine yeni özelliklerin ilave edilmesi ve kullanım açısından kolaylık sağlaması olduğı belirtilebilir.

Bazı bilim adamlarınca eğitimde biyolojik araştırmaların yapılması için daha çok erken olduğı düşünülmektedir. Çünkü böyle bir araştırma için öncelikle zihin/beyin çalışmalarıyla ilgili derin sorulara cevap bulunması gerektiğini düşünmektedirler. Ancak Fischer, Daniel, Immordino-Yang, Stern, Battro ve Koizumi (2007) bunun aksi bir görüşe; yapılacak biyolojik çalışmaların, eğitimde gelişim ve öğrenme gibi bilişsel süreçlerin keşfini sağlayabileceğini savunmaktadır. Buradan yola çıkarak beyin görüntüleme tekniklerinin eğitim araştırmalarında bir tıbbi teknik olarak devreye sokulabileceğİ düşünülebilir.

Eğitim Alanında Gerçekleştirilen Bazı Örnek Beyin Görüntüleme Çalışmaları

Beyin görüntüleme tekniklerinin eğitimde nasıl kullanılabileceğİ, hangi düzeyde başarı sağlayacağı noktasında kesin çıkarımlar yapılmamış; ancak sınırlı olsa da belirli çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde farklı alanlarda (matematik, müzik, okuma ve dil becerisi ve beyin okuma vb.) yapılan beyin görüntüleme çalışmalarına yer verilmiştir. Örneğın son birkaç yıldır beyin görüntüleme teknikleri çocuklarda okuma ve dil becerilerinin sinirsel gelişimi hakkında bilgi edinmek için kullanılmaktadır. Okuma alanında farklı beyin görüntüleme tekniklerinden (PET, fMRI, MEG) elde edilen bulgular birleştirilmiş ve bu şekilde fonolojik (ses bilimi) işleme ve kelime tanımayla ilgili sinir ağları tespit edilmiştir. Bu işlemi gerçekleştirirken okuma başarısı yüksek ve düşük çocukların nöral aktiviteleri incelenmiş ve aralarında belirgin farklılıkların olduğı tespit edilmiştir. Okuma ve dil becerisi ile ilgili yapılan bu çalışmanın sonucuna göre; sorunun biyolojik temelli olduğı düşüncesinin yanında, beyinde bulunan okuma alanıyla ilgili bölgenin ve sosyal çevrenin arasında karmaşık etkileşimlerin olduğı görülmüştür (Fletcher, Simos, Shaywitz, Shaywitz, Pugh, ve Papanicolaou, 2000). Aşağıda bu çalışmaya benzer, örnek kabul edilebilecek bir takım beyin görüntüleme çalışmalarına değinilmiştir.

Yakın zamanda ABD'deki Berkeley Üniversitesi'ndeki araştırmacılar beyin görüntüleme tekniklerini ve bilgisayar canlandırma tekniklerini kullanarak, beyin okumanın mümkün olup olmadığını araştırmıştır. Araştırma insanların izlemiş oldukları hareketli görüntülerin fMRI ve özel bir bilgisayar yazılımıyla beyinden okunabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca geliştirilen bu teknolojinin beyin-makine etkileşimine olanak sağlayacağı düşünülmektedir (Akoğlu, 2011).

Günümüzde nörobilimciler tarafından merak edilen durumlardan biri, beyinin pasif olduğu düşünüldüğü zamanlarda (uyurken, anestezi altındayken vb.), beyinde oluşan etkinliğin nasıl olduğudur. Önceden insan dinlenme durumundayken beyinde uyku durumunda olduğu düşünülmekteydi. Çünkü 1970'lerin sonunda geliştirilen PET ve 1992'lerde geliştirilen fMRI, beyin bir işe odaklansa da odaklanmasa da beyine dair ölçümler yapmayı sağlamıştır. Bu durum beyinin odaklanmadığı zamanlarda pasif olduğu kurgusuna yol açmıştır. Ancak son yıllarda kullanılan beyin görüntüleme tekniklerine göre, aslında durumun hiç de düşünüldüğü gibi olmadığı ortaya çıkmıştır. Yani yapılan çalışmalara göre bir insan hayal kurarken, uyurken ve anestezi altındayken bile, beyindeki farklı bölgelerin birbiriyle iletişim halinde olduğu tespit edilmiştir (Çelik, 2010).

Kudüs'te bulunan Hebrew Üniversitesi çalışanı Amir Amedi, okumayla ilgili beyin bölgesinin görme duyusundan bağımsız olup olmadığı üzerinde bir çalışma yapmıştır. Amedi ve ekibi bu çalışmada, daha önce hiç görme tecrübesi olmayan yani doğuştan görme duyusundan mahrum sekiz kişinin Braille alfabesiyle yazılmış kelimeleri veya harfleri okurken, bu kişilerde oluşan sinirsel etkinliği ölçmek için fMRI tekniğini kullanmıştır. Normal olarak daha önce görme duyusundan mahrum bir kişinin, beyindeki görme ile ilgili kısmı etkin olmayacağı, hatta Braille alfabesi dokunarak okunduğu için dokunma ile ilgili kısmın daha aktif olacağı düşünülebilir. Ama yapılan araştırma sonucuna göre; görsel sözcük biçimi bölgesinin (Visual Word Form Area-VWFA) sahip olduğu ana işlevsel özelliklerin görme engellilerde de bulunduğu, hiçbir görsel deneyime ihtiyaç duymadığı ve okumanın duyuşal şekliyle bağımsız olduğu ortaya çıkmıştır. Özetle beyinin görsel okumadan sorumlu bölgesi, görme duyusuna ihtiyaç duymadan etkinleşebilmektedir. Başka bir deyişle beyinde bulunan görmeyle ilgili aktif bölgeler, görerek okuyan ve Braille ile okuyan kişilerde aynı oranda olduğu tespit edilmiştir (Çelik, 2011, b).

Beyin görüntüleme teknikleri (fMRI, PET) ile müzik yapan veya dinleyen, hatta daha karmaşık bir durum olan, birlikte müzik yapan kişilerde de (örneğin bir orkestra üyeleri) beyin aktiviteleri incelenebilmektedir. Araştırmacılar, son zamanlarda müziğin eğitim üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu araştırmışlardır. Sınırlı sayıda yapılan çalışmalar sonucunda, müzik eğitimi alan çocukların zihinsel aktivitelerinin, müzik eğitimi almayan çocukların zihinsel aktivitelerine göre daha fazla olduğu ve müzik eğitiminin çocukların akademik başarısında olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir (Karaçay, 2010). Karaçay (2010)'ın görüşüğü, *This is Your Brain on Music* ve *The World in Six Songs* adlı kitapların yazarı olan Daniel Levitin

“Beyin görüntüleme cihazları ile beyni müzik dinlerken takip ettiğimizde değişik bölgelerinin birlikte, uyum içerisinde çalıştığını görüyoruz” demiş ve “ orkestradaki değişik enstrüman grupları nasıl seslendirilen eserin farklı kısımlarını uyum içerisinde çalışırsa, beyin de müziği aynı şekilde algılıyor, bir bölge sesin volümünü algılayarak başka bir bölge de müziğin ritmini algılıyor” ifadesini kullanmıştır (Karaçay, 2010).

Bu doğrultuda bakıldığında, beyinin algılanan bir olguyu bir bütün olarak ele alıp parça parça işleyen bir işlemci olduğu ifade edilebilir.

Beynin işleyişinin keşfedilmesiyle, insan yaşantısında karşılaşılan birçok sorunun üstesinden gelinebileceği düşünülmektedir. Bu düşünce beyin araştırmalarına son yıllarda önemli bir ivme kazandırmıştır. Örneğin eğitimde oluşan öğrenme güçlükleri sorunu, beyin görüntüleme teknikleriyle tespit edilip çözümler üretilebilir. Öğrenme güçlüğü çeken kişilere verilmesi gereken eğitim-öğretim programları bu tekniklerin verileri doğrultusunda gözden geçirilerek tekrar düzenlenebilir. Yakın zamanda Chicago Üniversitesi'ndeki bilim insanları, matematik korkusu çeken insanlar üzerinde beyin görüntüleme tekniklerini kullanarak bir araştırma yapmıştır. Araştırmaya göre matematik korkusu yaşayan bireylerin matematik problemlerini çözerken dikkatini kontrol edemediği ve olumsuz duygularının ön plana çıktığı saptanmış; araştırmanın sonucunda matematik korkusu yaşayan bireylerin bu korkularını yenip başarılı olabilecekleri sonucuna varılmıştır (Çelik, 2011, a). Beyin

görselleştirme teknikleri sayısal ve matematiksel gelişmeler alanında henüz yolun çok başındadır. Daha net sonuçlar elde etmek için matematik öğrenme gücüyle yaşayan çocukların gelişimsel değişiklikleri üzerinde daha çok çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca beyin görselleştirmeyi alanyazında matematik eğitimi ve iyileştirme programıyla ilişkilendirmek önerilmektedir (Ansari, 2009). Bu tekniklerin eğitim uygulamalarındaki sonuçlar henüz bulanık gibi görünse de, ilerleyen zamanlarda daha net bilgilere ulaşılabileceği düşünülmektedir. Bunun sağlanabilmesi için alanyazınla ilgili konularla (öğrenme gücü, matematik korkusu vb.) sürekli desteklenmelidir.

Alanyazındaki araştırmalara bakıldığında, gelecekte beyin görselleştirme tekniklerinin bizlere birçok alanda pek çok veri sağlayabileceği öngörülebilir. Ancak bu noktada bazı etik kaygıların varlığına da dikkat çekmek gerekmektedir. Nöroteknolojiler geliştirilirken; kişilerin özgür seçim ve iradesine saygılı olma ilkelerine göre şekillendirilmelidir. Ayrıca bilimsel ve etik yönünden değerlendirilirken insan sağlığı, toplum ve bireyin yararı ön planda tutulmalıdır (Ergen ve Ülman, 2012). Günümüzde beyin gizemini, dolayısıyla öğrenmenin nasıl gerçekleştiğini kavramaya ilişkin beyin görselleştirme ile gerçekleştirilen çalışmalarda; etik, sosyal ve yasal sorunların ortaya çıkabileceği belirtilmekte, “nöroetik” kavramı çerçevesinde bu sorunlar ele alınmaktadır (Illes ve Racine, 2006; Frost ve Lumia, 2012). Beyin görselleştirme verilerinin özellikle yorumlanması aşamasında ortaya çıkan epistemolojik ve etik sorunlardan bahsedilmektedir. Illes ve Racine’e (2006) göre, kaygılar iki soru ile dile getirilmektedir. Bunlar: Bilimsel düzeyde elde edilen nörolojik karmaşıklığın hâkim olduğu veriler ne kadar anlamlı yorumlanabilmektedir? Sosyal ve kültürel çevreden bağımsız bir yorumlama nasıl yapılabilir? Anlaşılacağı üzere kafalarda birçok soru işareti bulunmaktadır. Beyin araştırmalarında insanoğlunun sınırlarının neler olabileceği, bu sınırların aşılmasının ne gibi sorunlara yol açabileceği de tartışılması gereken konulardır. Son yıllarda dünya alanyazınında beyin görselleştirme tekniklerine ilişkin yayınların yanında, beyin görselleştirme tekniklerinin etik boyutunun da ciddi bir biçimde sorgulandığı bilinmelidir. Buna rağmen söz konusu olan yaşam kalitesini artırmak olduğunda, beyin görselleştirme tekniklerinin dikkate alınması gereken bir seçenek olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada kısaca nörobilim ve tarihçesine değinildikten sonra, alanyazından yararlanarak beyin görselleştirme teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca beyin görselleştirme tekniklerinin eğitimde kullanımları hakkında çeşitli örnekler verilmiştir. Bunların yanında beyin görselleştirme teknikleri ve bu teknikler sonucunda elde edilen verilerin yorumlanmasına dair çeşitli etik sorunların bulunduğu dikkat çekilmiştir.

Beyin görselleştirme tekniklerinin; insan hayatını kolaylaştırdığı, birincil olarak tıp alanında kullanıldığı; bir hastalık veya oluşan bir sorunun ne olduğunu tespit etmek için cerrahi müdahaleye gerek kalmadan teşhise olanak sağladığı bilinmektedir. Eğitim alanında da beyin görselleştirme tekniklerinin kullanılabileceği; böylece öğrenmenin nasıl gerçekleştiğini anlama ve öğrenme güçlüklerini tespit etmede eğitimcilerle katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Eğitimde beyin görselleştirme tekniklerinin kullanımı konusunda alanyazında çalışmalar bulunmakla birlikte bunların sayıca artırılması düşünülmelidir. Haier ve Jung (2008) çalışmasında, eğitim alanında yapılan bu çalışmaların daha sağlıklı yürütülebilmesi için, eğitimcilerle beyin araştırmacılarının birlikte çalışmalarının gerektiğini ifade etmektedir. Günümüzde beyin haritasını çıkarmaya yönelik olarak dünyanın ileri gelen ülkelerinde büyük bütçeli bilimsel araştırma projeleri yürütülmektedir. Ülkemizde de farklı üniversiteler bünyesinde yürütülen faaliyetler mevcuttur. Bu yöndeki çalışmalardan elde edilen verilerin eğitim camiasıyla paylaşılması, hatta eğitimcilerin de akademik destek sağladığı, disiplinler arası bilimsel araştırma gruplarının oluşturulması, öğrenmenin bireylerin zihninde nasıl yapıldığının keşfedilmesi açısından yararlı olabilecektir. Burada eğitim açısından düşünüldüğünde; beyin nasıl çalıştığını hücresel boyutta sorgulamak yerine, “beyin görselleştirme tekniklerinden elde edilen bilgileri kullanarak öğrenmeyi etkili bir biçimde nasıl gerçekleştirebiliriz?” sorusuna odaklanmak yararlı olacaktır. Sağlıklı bireyler üzerinde öğrenmenin doğasını anlamaya yönelik çalışmalar yapılabileceği gibi, bazı engelli gruplar üzerinde de çalışmalar yürütülebilir. Örneğin otizmli bireylerde beyinde öğrenmeye etki eden unsurların incelenmesi ve tespit edilmesi ile öğretimin bu yönde şekillendirilmesi sağlanabilir. Bireyden bireye farklılıklar gösteren öğrenme stillerinin belirlenmesi ve kişiye uygun olarak öğrenme ortamlarının tasarlanması ya da her bir bireyin özelliklerine uygun olarak zeki öğrenme sistemlerinin tasarlanması sağlanabilir. Beyin

görüntüleme teknikleri ile beyin işleyişi ve dolayısıyla öğrenmeye dair elde edilecek ipuçlarının doğru yorumlanması ve doğru amaçlar için kullanılması, öğrenmenin verimliliğini artırmak adına eğitime katkı sağlayabilir. Bu aşamada olayın etik boyutu özellikle dikkate alınmalı, bireylerin özlük hakları teminat altına alınmalıdır.

Beyin görüntüleme tekniklerinin eğitim alanında kullanılmasının ütopyik bir durum olduğu düşünülebilir. Bu düşünceye yanıt olarak son dönemlerde ülkemizdeki eğitim araştırmalarında kullanılmaya başlanan göz izleme (eye tracking) sistemi örnek gösterilebilir. Göz izleme sistemi, gözün hareketlerini takip ederek ölçüm yapan bir cihazdır (Duchowski, 2002). Online bilişsel süreçleri kayıt altına alarak, bilginin ne şekilde oluşturulduğuna dair sistematığı ortaya koymak amacıyla kullanılmaktadır (Yang, Chang, Chien, Chien ve Tseng, 2013). Bu sistem kullanılarak yürütülen çalışmalarda aslında yapılmaya çalışılanın, göz takibinden yola çıkarak öğrenmenin nasıl gerçekleştiğini anlayabilmek olduğu söylenebilir. Katılımcıların göz izleme sürecindeki odaklanma sayıları ve odaklanma süreleri dikkate alınarak katılımcılara dair verilerin toplandığı göz izleme sisteminin, eğitim araştırmalarında başlı başına bir veri toplama aracı gibi kullanıldığı araştırmalar mevcuttur (Liu, Lai ve Chuang, 2011; Akçapınar, Altun ve Menteş, 2012). Bu konuda ülkemizde özellikle ODTÜ, Hacettepe ve Marmara Üniversitesi'nde Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümlerindeki bazı eğitimciler tarafından çalışmalar yürütülmektedir (Acartürk ve Çağiltay, 2006; Özçelik, Kurşun ve Çağiltay, 2006; Bayram ve Yeni, 2011; Kalaycı, Tüzün, Bayrak, Özdiç ve Kula, 2011; Akçapınar, Altun ve Menteş, 2012; Tonbuloğlu ve Bayram, 2012; Bayram ve Bayraktar, 2012). Eğitim araştırmalarında beyin görüntüleme tekniklerinin kullanılması, göz takip sistemi ile yürütülen çalışmaların bir sonraki aşaması olarak değerlendirilebilir.

Son yıllarda beyin temelli öğrenme (brain based learning) adı altında, nörobilimdeki ipuçlarından yararlanarak öğrenmeyi ve öğrenme ortamının nasıl şekillendirilmesi gerektiğini açıklamaya çalışan bir yaklaşım ortaya çıkmıştır (Caine ve Caine, 1990; Caine ve Caine, 1995). Oniki temel ilkedен yola çıkarak, öğrenmeyi maksimum hale getirmeyi amaçlayan bu yaklaşımın, beyin araştırmalarındaki hızlı veri akışını ne derece takip edebildiği belki tartışılabilir. Ancak bu yaklaşımın, beyin araştırmalarının eğitimde kullanılması gerektiği fikrini ortaya atması, eğitimcilere yol göstermesi açısından oldukça yararlıdır. Öğrenmeyi gerçekleştiren organ olarak eğitimciler, beyin aktif rol aldığını bilmelerine rağmen, öğretimi sağlamaya çalışırken beyin araştırmalarının verilerini kullanabileceklerini belki de hiç düşünmediler. Bugün artık öğretim yöntem ve tekniklerini seçerken ya da öğretim materyallerini hazırlarken, bugüne kadar dikkat edilmeyen farklı değişkenlerin, en azından varlığı bilinmektedir. Beyin görüntülemenin mikroskobik ve teknik boyutunu çalışan tıp ve elektrik-elektronik gibi alanlarla, eğitim alanındaki araştırmacıların yapacakları işbirlikli çalışmalar; eğitim alanında bu yönde yapılabilecek olan yeni araştırmalara yön verebilir. Bunun için farklı disiplinlerin bir araya geldiği ortak proje çalışmalarının yürütülmesi yararlı olacaktır. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçların, öğretimin uygulayıcısı olan öğretmenlerle uygun platformlarda paylaşılması yararlı olacaktır.

Teşekkür

Çalışmamızda bize yardımcı olan ve değerli fikirlerini paylaşan Beyin Cerrahı Sayın Soner MUHÇU' ya teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- Acartürk, C., & Çağltay, K. (2006). İnsan bilgisayar etkileşimi ve ODTÜ'de yürütülen çalışmalar. *Akademik Bilişim 2006 Bildiriler Kitapçığı, 9-11 Şubat 2006, Denizli.*
- Akçapınar, G., Altun, A., & Menteş, T. (2012). Hipermetinsel Ortamlarda Önbilgi Düzeylerinin Gezinim Profilleri Üzerine Etkisi. *Eğitim ve Bilim, Cilt 37, Sayı 163.*
- Akoğlu, A. (2011, Ekim). Beyin Okuma Gerçek Oluyor. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Ekim 2011 Yıl 45 Sayı 527.*
- Alkan, A., Kutlu, R., Aslan, M., & Yakıcı, C. (2004). Adrenolökodistrofi: tek voksel MR Spektroskopi Bulguları. *Tanıs ve Girişimsel Radyoloji 10:200-203.*
- Ansari, D. (2009). Neuroimaging of Numerical and Mathematical Development. *Encyclopedia of Language and Literacy Development* (pp. 1-8). London, ON: Canadian Language and Literacy Research Network. Retrieved from <http://www.literacyencyclopedia.ca/pdfs/topic.php?topId=283>.
- Bayram, B., & Bayraktar, D. M. (2012). Using Eye Tracking to Study on Attention and Recall in Multimedia Learning Environments: The Effects of Design in Learning. *World Journal on Educational Technology Vol 4, issue 2 (2012) 81-98.*
- Bayram, S., & Yeni, S. (2011). Web Tabanlı Eğitsel Çoklu Ortamların Göz İzleme Tekniği ile Kullanışlılık Açısından Değerlendirilmesi. *Ahi Evran Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 12, Sayı 2, Haziran 2011 Özel Sayı, 221-234.*
- Brady, Z., Taylor, M. L., Haynes, M., Whittaker, M., Mullen, A., Clews, L., . . . Jamie, V. T. (2008). The clinical application of PET/CT: A contemporary review. *Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine 31(2), 90-109.*
- Brenner, D. J., & Elliston, C. D. (2004). Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology 232, 735-738.*
- Caine, R. N., & Caine, G. (1990). Understanding a Brain-Based Approach to Learning and Teaching. *Educational Leadership, october 1990, 66-70.*
- Caine, R. N., & Caine, G. (1995). Reinventing Schools Through Brain- Based Learning. *Educational Leadership, April 1995, 43-47.*
- Ceylan, M. E. (2012, 12 23). *Profesyoneller- Beyin Görüntüleme*. Prof.Dr.Mehmet Emin Ceylan Psikiyatrist, Farmakolog: <http://eminceylan.com/pro1.asp?CatID=128> adresinden alındı
- Crivellato, E., & Ribatti, D. (2007). History of Neuroscience Soul: Mind, Brain: Greek Philosophy and The Birth of Neuroscience. *Brain Research Bulletin 71, 327-336.*
- Çelik, İ. (2010, Mayıs). Beynin Karanlık Enerjisi. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Mayıs 2010 Yıl 43 Sayı 510.*
- Çelik, İ. (2011, b). Okumayla İlgili Beyin Bölgesi Görme Duyusundan Bağımsız mı? *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Mart 2011 Yıl 44 Sayı 520.*

- Çelik, İ. (2011,a). Matematik Korkusunu Yenmek. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık 2011 Yıl 45 Sayı 529.
- Çelik, L., & Çubuk, R. (2010). Meme Manyetik Rezonans Görüntüleme: Nasıl, Niçin, Ne Zaman, Kime. *Klinik Gelişim* 23/2, 6-10.
- Çiçek, M. (2008). *İşlevsel Beyin Görüntüleme Yöntemleri*. Türk Farmakoloji Derneği: www.tfd.org.tr/eski/Erzurum_2008_cicek.pdf 27/11/2012 adresinden alındı
- David, A., Blamire, A., & Breiter, H. (1994). Functional MRI, A new technique with implications for psychology and psychiatry. *The British Journal of Psychiatry*, 164, 2-7.
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34 (4), 455-470.
- Eichler, F. S., Itoh, R., Barker, P. B., Mori, S., Garrett, S. E., Zijl, P. C., . . . Melhem, E. R. (2002). Proton MR Spectroscopic and diffusion tensor brain Mr imaging in X-linked adrenoleukodystrophy: initial experience. *Radiology* 225, 245-252.
- Ergen, M., & Ülman, Y. I. (2012). Nörobilim, Nöroteknoloji, Yalan Tespiti ve Etik. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi Cilt: 3, Sayı: 3 , Temmuz 2012*.
- Fischer, K. W., Daniel, D. B., Immordino-Yang, M. H., Stern, E., Battro, A., & Koizumi, H. (2007). Why Mind, Brain, and Education? Why Now? *International Mind, Brain, and Education Society and Blackwell Publishing, Inc.*
- Fletcher, J. M., Simos, P. G., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., & Papanicolaou, A. C. (2000). Neuroimaging, Language, and Reading: The Interface of Brain and Environment. *A Research Symposium on High Standards in Reading for Students From Diverse Language Groups: Research, Practice & Policy*. Washington, DC: PROCEEDINGS.
- Frey, K. A., Minoshima, S., & Kuhl, D. E. (1998). Neurochemical İmaging of Alzheimer's disease and other degenerative dementias. *Journal of Nuclear Medicine* 42, 166-178.
- Frost , C. J., & Lumia, A. R. (2012). The Ethics of Neuroscience and the Neuroscience of Ethics: A Phenomenological–Existential Approach. *Sci Eng Ethics (2012) 18:457–474*, DOI 10.1007/s11948-012-9388-1.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 1–14.
- Gökçora, N., & Akdemir, Ö. (2002). Psikiyatrik Hastalıklarda Nükleer Tıp Uygulamaları. *Demans Dergisi*, 37-41.
- Gross, C. G. (1987). Neuroscience, Early of History. *Journal of Encyclopedias of Neuroscience pp.843-847*.
- Haier, R. J., & Jung, R. E. (2008). Brain Imaging Studies of Intelligence and Creativity: What is the Picture for Education? *Roeper Review*, 30:3, 171-180, DOI: 10.1080/02783190802199347.

- Hari, R., & Kujala, M. V. (2009). Brain Basis of Human Social Interaction: From Concepts to Brain Imaging. *Physiol Rev* 89: 453–479, 2009; doi:10.1152/physrev.00041.2007.
- Illes, J., & Racine, E. (2006). Imaging or Imagining? A Neuroethics Challenge Informed by Genetics. *The American Journal of Bioethics*.
- Işık, Z., Selçuk, H., & Albayram, S. (2010). Bilgisayarlı Tomografi ve Radyasyon. *Klinik Gelişim* 23/2, 16-18.
- Kalaycı , E., Tüzün , H., Bayrak, F., Özdiñç, F., & Kula , A. (2011). Üç-Boyutlu Sanal Ortamların Kullanılabilirlik Çalışmalarında Göz-İzleme Yöntemi: Active Worlds Örneđi. *Akademik Bilişim'11 - XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri 2- 4 Şubat 2011 İnönü Üniversitesi, Malatya*.
- Kara, K., Verim, S., & Akarsu, S. (2013). Bipolar Bozuklukta Nörogörüntüleme (Neuroimaging in Bipolar Disorder). *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar-Current Approaches in Psychiatry* 5(1), 1-14.
- Karaçay, B. (2010). Müzik ve Beyin. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Temmuz 2010 Yıl 43 Sayı 512*.
- Karasu, A., Aygen, G., Sabancı, P. A., Sağlam, G., Civelek, E., & Eskandar, E. N. (2008). Nörobilim Öyküleri: Aristo (M.Ö. 384-322). *Sinir Sistemi Cerrahisi , 1(4)*.
- Keleş, E. (2007). Altıncı Sınıf Kuvvet ve Hareket Ünitesine Yönelik Beyin Temelli Öğrenmeye Dayalı Web Destekli Öğretim Materyalinin Geliştirilmesi ve Etkililiğinin Değerlendirilmesi. *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*.
- Kitiş, Ö., Eker, M. Ç., Zengin, B., Yılmaz, D. A., Yalvaç, D., Özdemir, H. İ., . . . Gönül, A. S. (2011). Şizofreni Hastalarında Beyin Yarıküreleri Arasındaki Bozulmuş Bağlantı Bütünlüğü: Bir Diffüzyon Görüntüleme Çalışması. *Türk Psikiyatri Dergisi* 22.
- Le Bihan, D. (2003). Looking into the functional architecture of the brain with diffusion MRI. *Nature Reviews Neuroscience* 4, 469-480.
- Linton, O. W., & Mettler, F. A. (2003). National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. *AJR-American Journal of Roentgenology* 181, 321-329.
- Liu , H.-C., Lai , M.-L., & Chuang, H.-H. (2011). Using eye-tracking technology to investigate the redundant effect of multimedia web pages on viewers' cognitive processes. *Computers in Human Behavior* 27 (2011) 2410–2417.
- Morris, R., & Fillenz, M. (2003). Beyin Görüntüleme. SİNİRBİLİMİ içinde, *Beyin Bilimi Bölümü* (F. Esen, Çev., 1. b., s. 41-43). Liverpool, İngiltere(UK): İngiliz sinirbilimleri derneği tarafından basılmıştır.
- Orrison, W. W. (1999). Magnetic Source Imaging in Stereotactic and Functional Neurosurgery. *Stereotactic and Functional Neurosurgery* 72, 89-94.
- Özçelik, E., Kurşun, E., & Çağıltay, K. (2006). Göz Hareketlerini İzleme Yöntemiyle Üniversite Web sayfalarının İncelenmesi. *Akademik Bilisim2006 Bildiriler Kitapçığı*.

- Savaş, R. (2010). PET/BT Nedir, Endikasyonları Nelerdir? *Klinik Gelişim* 23/2, 40-44.
- Solso, R. L., Maclin, M. K., & Maclin, O. H. (2011). Nörofizyolojik Değerlendirme Teknikleri. *Bilişsel Psikoloji Kitabı* (A. Ayçiçeği Dinn, Çev., 2. b., s. 60-70). içinde
- Tonbuloğlu, İ., & Bayram, S. (2012). Göz İzleme Yöntemiyle Öğretim Yazılımlarındaki Açılır Pencere Yapılarında Kullanışlılık Değerlendirmesi. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi Ağustos 2012 Cilt 1 Sayı 3 ISSN: 2146-9199*.
- Tuna Erdoğan, E. (2009). IONM. *Joint COST B27/SAN Training School: Neurofeedback and ADHD & Internatiol course and conference MIND and BRAIN 6: Neuroplasticity of Brain and Behavior April 16-21, 2009, Dubrovnik, Croatia. Local organizer: Selma Supek, University of Zagreb*.
- URL-1. (2013). *Nörobilim*. Aralık 7, 2013 tarihinde <http://norobilim.com/norobilim-nedir/> adresinden alındı
- Ünal, D. (2008). Tıpta Kullanılan Görüntüleme Teknikleri. *Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fak. OFMAB Fizik Eğitimi Anabilim Dalı Tez çalışması*.
- Valenzuela, M. J., & Sachdev, P. (2001). Manyetic Resonance Spectroscopy in AD. *Neurology* 56, 592-598.
- Yang, F.-Y., Chang, C.-Y., Chien, W.-R., Chien, Y.-T., & Tseng, Y.-H. (2013). Tracking Learners' Visual Attention During a Multimedia Presentation in a Real. *Computers & Education* 62, 208–220.
- Yıldız, B. A. (2006). *Beyin Dalgaları ile Öğrenme ve Hafıza Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Res.1: <http://www.energytoolsint.com/results/research/brain/13/02/2014>
- Res.2: <http://www.intermed.gen.tr/hizmetlerimiz/radyoloji/bilgisayarli-tomografi-bt-64-kesitli/13/01/2013>
- Res. 3: <http://essentialsomatics.files.wordpress.com/2011/03/medical-monitoring.jpg>13/01/2013
- Res. 4: http://www.riversideonline.com/health_reference/Articles/CA00052.cfm13/01/2013
- Res. 5: http://www.riversideonline.com/health_reference/Articles/CA00052.cfm_13/01/2013
- Res. 6: <http://healthcare.siemens.com/molecular-imaging/spect-and-spect-ct/symbia-s>13/01/2013
- Res. 7: <http://www.hakkikarakas.com/duyurular/haber.html>13/01/2013
- Res. 8: http://www.manyetikdunyamiz.com/tms_tedavisi.htm13/01/2013
- Res.9: http://www.betatom.com.tr/manyetik_rezonans.html13/01/2013