

**Derleme Makale
(Review Article)**

Kartografik Gösterimlerin Kullanılabilirliğinin Ölçülmesinde Nörobilişsel Yöntemler

Merve KESKİN¹, Ahmet Özgür DOĞRU¹, Caner GÜNEY¹, Melih BAŞARANER²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469 İstanbul/TÜRKİYE

²Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü, 34220 İstanbul/TÜRKİYE

keskinmer@itu.edu.tr

Öz

Bilişsel teori ve yöntemlerin; haritaların ve bilişsel süreçlerin anlaşılması amacı taşıyan harita uygulamaları, bilişsel kartografyanın konusudur. Kullanıcıların kartografik bir gösterimle etkileşime girdiğinde sergilediği davranışlar, mekan algısı ve bilişsel süreçler kullanılabilirlik ölçme ve değerlendirmeleriyle tespit edilebilmektedir. Kullanıcı merkezli tasarımların (User Centered Design (UCD)) yapılabilmesi için kullanılabilirlik testlerinden elde edilen sonuçların temel başlangıç ölçütleri olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kullanılabilirlik yöntemlerini nitel ve nicel olarak gruplandırmak mümkündür. Nicel yöntemlerden sıklıkla kullanılan göz izleme (eye tracking) ve kartografik alanda çok az çalışmada yararlanılan fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) teknolojileri nörobilişsel ölçme ve değerlendirmeye imkan tanıdıkları için kullanılabilirlik analizlerine önemli bulgular sağlamaktadır. Beyin aktivitelerini ölçmeye imkan veren görüntüleme yöntemlerinden EEG (elektroensefalogram) de, fMRI gibi kartografik kullanılabilirlik araştırmalarına entegre edilebilir. Bu çalışmanın amacı, kartografik ürünlerin kullanılabilirlik analiz yöntemlerinin ve nörobilişsel yöntemlerin bu alanda yapılan araştırmalara ve dolayısıyla UCD'ye sunduğu ve sunacağı katkıların değerlendirilmesidir. Öte yandan Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde yaşanan gelişmeler ile mevcutta birçok farklı disiplinle ortak çalışmalar yürüten geomatik mühendislerinin tıp doktorları ile yeni alanlarda da birlikte çalışması gerektiği, bu çalışma ile bir kez daha vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kullanılabilirlik araştırması, Kullanıcı testleri, Bilişsel kartografya, Mekansal biliş, Nörobilişsel yöntemler, Göz hareketlerinin izlenmesi, göz izleme, fMRI, EEG

Neurocognitive Methods for Cartographic Usability Research

Abstract

Implementation of cognitive theory and methods with the aim of understanding maps and cognitive process is the main subject of cognitive cartography. User behaviors when interacting with a cartographic visualization, spatial perception and cognitive procedures can be determined by usability evaluation. The findings of usability tests must be considered as preliminary criteria to achieve a better user-centered design (UCD). Usability methods can be categorized as qualitative and quantitative. Eye tracking -which is one of the most widely used quantitative methods- and fMRI (functional magnetic resonance imaging) -which is used very rare for cartographic purposes- provide significant findings to usability analysis, because they facilitate neurocognitive measurement and evaluation. Hence, similar to fMRI, EEG (electroencefalogram) method -which enables measuring and evaluation of brain activities- can also be integrated to usability research. This study aims to review cartographic usability research methods and introduce both existing and potential contribution of neuroscience to usability research and UCD. On the other hand, this study emphasize the necessity of working with medical doctors in a new research area, as well as geomatics engineers collaborate with several other disciplines in various fields due to the developments in GIS.

Keywords: Usability research, User tests, Cognitive cartography, Spatial cognition, Neuroscience methods, Eye tracking, fMRI, EEG

1. GİRİŞ

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, ekran haritaları, animasyonlar, dinamik ya da interaktif mekan-zamansal gösterimler vb. yeni nesil kartografik ürünler (neocartographic products) herkes tarafından erişilebilir hale gelmiştir. Ancak bu gösterimlerin kullanılabilirliği ya da anlaşılabilirliğine ilişkin yeterli düzeyde kullanıcı geri beslemesi bulunmamaktadır. Bir diğer deyişle, üretilen haritaların kullanıcılar tarafından nasıl okunduğu, değerlendirildiği, algılandığı ya da hangi araçların harita kullanıcılarının algı süreçlerine olumlu ya da olumsuz etkisi olduğu gibi konularda yeterli bir bilgi birikimi oluşmamıştır [1]. Kartografik ürünlerin tasarımının, algı sürecine ve dolayısıyla da kullanılabilirliğe önemli etkileri olduğu, kartograflar tarafından uzun süre önce fark edilmiştir [2-4]. Çünkü harita tasarımı, zihinsel dünyamıza (mental world) bir girdi sağladığı için, bir anlamıyla zihinsel tasarımdır (mental design) [5]. Buna rağmen, kullanıcı algısını ölçme ve değerlendirme amacıyla gerçekleştirilen mevcut çalışmalar, maalesef bahsi geçen yeni nesil kartografik ürünlerin kullanılabilirliğini değerlendirmek için yetersiz kalmaktadır [1].

Bu konudaki mevcut çalışmalar, genellikle birebir görüşme, kullanıcı hareketlerinin görüntülü/sesli kaydedilmesi gibi nitel yöntemlerden yararlanılarak elde edilmiş sonuçları içermektedir. Kullanıcıya yönelik bazı çalışmalarda pek çok alanda yaygın bir şekilde kullanılan ve nicel bir değerlendirme yöntemi olan göz izlemesi (eye tracking) yönteminden yararlanılmıştır [1, 6-9]. Göz izleme yöntemi dışarıdan gözlemlenebilen kullanıcı davranışlarını ölçmede başarılı olsa da, dışarıdan gözlemlenemeyen ve beyinde başlayan algı sürecini tamamen yansıtamamaktadır. Kullanıcı algısının bütüncül bir şekilde tespit edilebilmesi için göz hareketlerinin izlenmesi ile birlikte, farklı nicel değerlendirme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Çalışmanın amacı kartografik ürünlerin kullanılabilirliği ve anlaşılabilirliğinin ölçülmesi için nörobilişsel yöntemlerin olanaklarını mevcut çalışmalar üzerinden değerlendirmek ve bu yöntemlerin kullanıcı merkezli tasarım sürecine getireceği potansiyel katkılara değinmektir. Bu kapsamda öncelikle mekansal algı ve mekansal biliş (Bölüm 2) ve kullanılabilirlik araştırması (usability research) (Bölüm 3) üzerine kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Kullanılabilirlik araştırması; göz hareketlerinin (Bölüm 3.1) ve beyin hareketlerinin (Bölüm 3.2) izlenmesini içeren nörobilişsel yöntemler özelinde incelenmiştir. Dördüncü bölümde nörobilişsel yöntemlerin kartografik amaçlı kullanımına ilişkin yeni bir vizyon önerisi yapılmıştır. Beşinci bölüm ise mevcut çalışmaların ve yöntemlerin, kartografya disiplinine sunduğu ve potansiyel teşkil eden katkıların değerlendirmesini içermektedir.

2. MEKANSAL ALGI VE MEKANSAL BİLİŞ

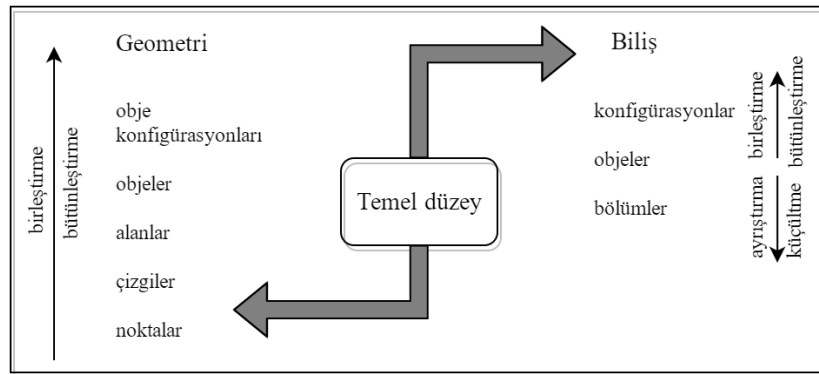
Montello [5], harita tasarımının, kullanıcının biliş (cognition) tasarımı ile ilgili olduğunun farkına varmış ve bu farkındalığı “sezgisel harita psikolojisi (intuitive map psychology)” olarak kavramsallaştırmıştır. Harita sezgisi bilişsel bir araç olması nedeniyle, 20. yy.’da kartografya eğitiminin standart bir parçası haline gelmiştir. Bu süreçte kartograflar, harita sezgisinin, fen ve psikoloji bilimlerine ilişkin teori ve yöntemlerin sistematik bir şekilde uygulanmasıyla geliştirilebileceği fikrini ortaya atmışlardır. Bu gelişmelere bağlı olarak bilişsel kartografya (cognitive cartography) yeni bir araştırma alanı olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bilişsel kartografya, haritaların ve harita üretim süreçlerinin anlaşılmasını amaçlayan bilişsel teori ve yöntem uygulamalarını ve bilişsel süreçlerin anlaşılmasına yönelik harita uygulamalarını kapsamaktadır [5].

Mekanın düşünce bazında yeniden yapılandırılması ve bunun özümseven yansıması; mekansal biliş olarak tanımlanmaktadır [10-12]. Mekansal biliş; fiziksel çevrenin yanı sıra, insanların becerileri, sosyo-kültürel, ekonomik ve politik yaşam özellikleriyle de ilgilidir. *Mekansal imge* (imaj) ve *bilişsel haritalama* kavramları mekansal bilişi oluşturan iki önemli bileşendir. Mekansal imge; mekansal davranışın ve insanın çevreye ilişkin imgesinin işleviyken; bilişsel haritalama bireyin farklı çevrelerle ilgili bilgiyi depolaması, çözümlenmesi ve hatırlamasına ilişkin psikolojik dönüşümler dizisidir. Bir başka deyişle mekansal imge,

bireyin fiziksel yeryüzüne ilişkin zihninde oluşturduğu genelleştirilmiş resimdir. Mekansal imgenin oluşması, bireyin anlık algısı ve geçmiş deneyimlerinin ürünüdür. Mekansal imge bireyin bilgiyi yorumlaması ve buna karşılık davranış geliştirmesini sağlar [11, 12]. Bunlara bağlı olarak bilişsel haritalama süreci, farklı mekanlarda var olan bilginin nasıl kullanıldığı ve bunun davranışa nasıl yansıdığı (karmaşık veriyle başa çıkma, yorumlama, vb.) olarak nitelendirilebilir. O halde çevre algısı, insanların zihinsel resimleri ve zihinsel haritalarının gelişmesinde oldukça etkilidir. Bir kişinin zihninde hâlihazırda bildiği bir olguyu mekansal ilişkileriyle birlikte algılayıp kavraması sonucu biliş haritaları oluşur [10].

Biliş; algı (perception), öğrenme (learning), bellek (memory), düşünme (thinking), muhakeme (reasoning), problem çözme (problem-solving) ve iletişim (communication) kavramlarını içermektedir [5]. Bu anlamda bilişsel kartografya; harita tasarımı, harita psikolojisi ve harita eğitimi olarak üç ana araştırma konusundan oluşmaktadır. Harita tasarımı, haritaların daha etkin ve etkili biçimde anlaşılabilmesi ve harita kullanımı konularıyla ilgilenirken; harita psikolojisi insan algısı ve biliş konusuna yoğunlaşmaktadır. Harita eğitimi ise harita üretimi ve kullanımı ile ilgili eğitimin geliştirilmesini hedefler [5].

Fiziksel gerçekliğin soyutlanması geometrik ve bilişsel açıdan farklılık göstermektedir. Geometrik olarak fiziksel gerçeklik nokta, çizgi ve alan olarak soyutlanmaktadır. Başka bir deyişle nokta, çizgi ve alan işaretleri, gerçekliğin sayısal (vektör formatta) olarak modellenmesinde kullanılan en küçük anlamlı parçalardır. Ancak bilişsel olarak temel varlıklar (basic entities) bu üç temel öğe ile ifade edilmek zorunda değildir. Bilişsel düzeyde varlıklar sandalye, kitap gibi bir fiziksel objenin bütünü olarak da ifade edilebilmektedir; yani biliş daha esnek bir yapıya sahiptir. Şekil 1’de ele alınan parça-bütün ilişkisine göre, obje ile objenin bileşenleri arasındaki ilişkiler “temel düzey (basic-level)” olarak değerlendirilir [13]. Bu nedenle, kartografik gösterimlerin kullanıcı tarafından algılanabilirliğini artırmak için, kartografik gösterimlerde kullanılan geometrik temeller ile bilişsel süreçler arasındaki ilişkiler en azından temel düzeyde kurulmalıdır. Bu ilişkiler, harita tasarımı yapılırken öncül kriterler olarak dikkate alınmalıdır. Çünkü, kartografik bir gösterimin ne kadar anlaşılır olduğu, tasarımının ne kadar etkin yapıldığına bağlıdır. Bu kapsamda, kartografik tasarım sürecinde gerçekliğin görsel değişkenler yardımıyla işaretleştirilmesi sürecinde, *örneğin*, “önce gözden geçir (overview first)”, “yaklaş ve filtrele (zoom&filter)”, “ihtiyacın olan detayları gör (details on demand)” stratejisi göz önünde bulundurularak obje ve bileşenler arasındaki ilişkilerin kurulması sağlanabilir [14].



Şekil 1. Fiziksel bir objenin geometrik ve bilişsel olarak kavramsallaştırılması (Freksa, 2013’ten dilimize uyarlanmıştır) [13]

3. KULLANILABİLİRLİK ARAŞTIRMASI

Kullanılabilirlik (usability), genel anlamıyla, bir uygulamada belirlenen görevlerin, hedef kitle olarak tespit edilen kullanıcılar tarafından, gerekli eğitim ve teknik desteğin verilmesinin ardından, uygun çevre koşullarında kolaylıkla ve etkili biçimde kullanılabilmesi olarak tanımlanır [15]. Herhangi bir ürün ya da sistemin kullanılabilirliğini sağlamak için, üretim süreçlerinde kullanıcı istek ve beklentilerine uygun

tasarımlar yapılmalıdır. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) kullanılabilirliğe ilişkin standartları (ISO 9241-11), öncelikli olarak aşağıdaki kavramlar dahilinde değerlendirerek tanımlamıştır:

- Ürünün kullanımı (belirli kullanım şartları altında etkinlik, verimlilik ve memnuniyet)
- Kullanıcı arayüzü ve etkileşimi
- Ürünün geliştirilmesinde izlenen süreç
- Kurumun kullanıcı-merkezli tasarımı (user centered design-UCD) uygulayabilme becerisi

ISO 9241-11 standardı ürün kullanımını tanımlamakta ve kullanılabilirlik konusunda bir kılavuz sunmaktadır. Ürün kullanımı standardını oluşturan bileşenlerden etkinlik; kullanıcının belli görevleri tamamlayabiliyor ve belli hedeflere ulaşabiliyor olması gibi parametrelerle ifade edilmiştir. Ürünün verimliliği, genelde süreyle ölçülmekte olup, kullanıcının bir görevi tamamlaması için ne kadar çaba sarf ettiği ile ilgilidir. Memnuniyet ise kullanıcının, ürünün kullanım kolaylığı ile ilgili ne düşündüğü, başka bir deyişle, hoşnut olup olmadığını ölçüsüdür. Bu standarda göre ürün kullanımını etkileyen üç temel faktör bulunmaktadır [15]:

- Kullanıcılar (ürünü kullanan kişilerin profilleri – eğitimli, deneyimli ya da amatör)
- Kullanıcı hedefleri (kullanıcıların ürünü kullanma amaçları)
- Kullanım şartları (ürünün kullanım ortamı ve şekli)

Yukarıda tanımlanan standartlar kartografik bir ürünün kullanılabilirliğinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi süreçlerinde de referans alınabilecek yapıdadır. Bu kapsamda, kartografik ürünlerin kullanılabilirlik analizleri yapılırken öncelikle kullanıcılardan ne tür görevleri gerçekleştirmelerinin beklendiği ve bu görevlerin hangi kriterlere göre tasarlanacağı ve sınıflandırılacağı belirlenmesi gerekmektedir. Kullanıcıdan gerçekleştirmesi beklenen görevler; kullanıcı grubu, amaç, ortam ve görselleştirme yönteminin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır. Kullanıcı grubu çoğu zaman homojen olmadığı gibi, kullanıcıların eğitim, yaş, cinsiyet, kültür ya da duyuşsal yetersizlik vb. farklılıkları, mekansal algıyı ve dolayısıyla kartografik algıyı etkileyen faktörlerdendir [16]. Kullanıcı merkezli tasarımlar gerçekleştirilirken de mekansal algıyı etkileyen bu farklılıklar dikkate alınmalıdır. Yaş, cinsiyet gibi biyolojik faktörlerin yanı sıra, örneğin, kullanıcının daha önce kartografik bir ürün ile etkileşimde bulunup bulunmadığı, bir başka deyişle, harita okuma becerisi ya da kartografik gösterime konu olan mekana gidip gitmediği gibi etkenler de oldukça önemlidir. Bu nedenle kartografik bir gösterimin kullanılabilirliğini etkin bir şekilde test edebilmek için kullanıcı profilleri oluşturmak gerekmektedir.

Kullanıcılar ve kullanıcı hedefleri belirlendikten sonra kullanım şartları dikkate alınmalıdır. Kartografik ürünlerin sunulacağı ortam, sunum yöntemi (2 Boyutlu (2B), 3 Boyutlu (3B), statik, dinamik ya da interaktif olması) kullanılabilirlik araştırmasının planlanması için önemli ve yönlendirici parametrelerdir. Örneğin; MacEachren ve diğerleri [17] sanal ortamlarda üretilen mekansal gösterimlerin kullanılabilirlik değerlendirmesi için; tasarımın kullanıcıyı içine çekmesi (immersion), etkileşim (interactivity), bilgi yoğunluğu (information density) ve akıllı objeleri (intelligent objects) kapsayan dört adet kriter belirlemiştir. Bu kriterlerden tasarımın kullanıcıyı içine çekmesi, kullanıcının tasarımla etkileşimi sırasında hissettiği psikolojik durumu tanımlar. Etkileşim, kullanıcının kendini yönlendirmesi ve yön bulmasına yardımcı yöntemler geliştirmesini ifade ederken; bilgi yoğunluğu, kartografik gösterimdeki detay seviyeleri ve dolayısıyla genelleştirme ile ilgilidir. Son olarak akıllı objeler ise, kullanıcının etkileşim içinde olduğu gösterimi yorumlamasına yardımcı olanaklar sunar.

Literatürde kartografik ürünlerin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş kullanıcı görevlerine (user-tasks) ilişkin pek çok taksonomi çalışmaları bulunmaktadır [8, 18-22]. Örneğin; Knapp [23], 6 adımdan oluşan bir görev analizi modeli geliştirmiştir. Bu modelde kartografik ürünün neyi (task), neden (goal), nasıl (physical actions) gerçekleştirebildiğinin yanı sıra, kullanıcının etkileşimde olduğu veriye (data) bağlı

olarak hangi düşünsel süreçlerden (mental actions) geçtiği ve hangi görsel işlemleri (visual operators) kullandığı irdelenmektedir.

Kullanıcının tasarımı uygulayabilme becerisi, onun, belirlenen görevleri gerçekleştirirken sergilediği davranışlarıyla ilişkilidir. Bu davranışların hangi yöntem ya da yöntemlerden yararlanarak tespit edileceğini belirlemek oldukça önemlidir. Kartografik ürünün kullanılabilirliğini ölçmek, kullanıcı performansını değerlendirmekle mümkündür. Bunun için pek çok teorik ve ampirik (deneysel) yöntem kullanılmaktadır. Ampirik yöntemler, bir fikrin sistematik gözlem ve ölçmelerle üretilmesi ve doğrulanmasına olanak verir. Sistematik gözlemler; standartlaşmış, kontrollü, kayıt altına alınabilen, tekrarlanabilen ve herkes tarafından doğrulanabilen gözlemlerdir. Bu noktada sistematik deneysellik, kartografların harita tasarımı için uzun yıllardır geliştirdiği deneme-yanılmaya dayalı geleneksel yöntemlerden ayrıştırılmalıdır. Benzer şekilde, bir tasarımın etkin olup olmadığını değerlendirmek için kartografların kendi arasında gerçekleştirdiği formal olmayan test ve deneyleri de ayrı tutmak gerekmektedir. Kartografyadaki tüm deneysel araştırmalar, bilişsel teorileri ya da insanı konu etmeyeceği gibi, yalnızca deneysel yöntemlerin kabul edilebilir sonuçlara götüreceği yargısında bulunmak da doğru değildir. Bilimsel sonuçların elde edilebilmesi için deneysel araştırmalar ile öngörülen fikir ve teorilerin rasyonel kullanımı sentezlenmelidir [5, 24]. Benzer şekilde, Slocum ve diğerleri [16] de etkin bir görselleştirme yönteminin geliştirilmesinin iki ayaklı bir süreç olduğunu desteklemektedir. Bunlardan ilki teori güdümlü bilişsel bir araştırma, diğeri ise kullanılabilirlik mühendisliği (usability engineering) ilkeleriyle mevcut yöntemlerin değerlendirilmesidir. Teori güdümlü bilişsel araştırma, kullanıcıların harita kullanımı sırasında gerçekliğe ait bilişsel haritaları, zihninde nasıl yarattığı ve kullandığını anlamaya yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Kullanılabilirlik mühendisliği ise, bir yazılımın kullanılabilirliğini analiz etme ve iyileştirmeye yarayan yöntemlerin belirlenmesidir. Buradaki kullanılabilirlik kavramı, tıpkı ISO standartlarında [15] bahsedildiği gibi, hem kullanım kolaylığını; hem de etkinlik, verimlilik ve memnuniyeti içermektedir. Kartografya alanında uygulanan “kullanıcı testleri”, “kullanıcı araştırması” adı altında gerçekleştirilen ampirik çalışmalar, kullanılabilirlik mühendisliğine konu olan çalışmalarla benzerlik göstermektedir [16].

Yukarıda bahsi geçen teorik ve ampirik ayrımlar dikkate alındığında, kullanılabilirlik araştırması için uygulanan yöntemler, nicel ve nitel olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Nitel yöntemler, kullanıcının deneyim, hareket ve davranışlarını; kullanıcının tepkilerine sebep olan duygu ve düşünceleri de içererek inceler. Bu yöntemler 2B, 3B statik, dinamik ve interaktif görselleştirme tekniklerinin kullanılabilirliğini ölçmek için sıkça kullanılmaktadır. Birebir görüşme [8, 25], kullanıcının sesli düşünmesini (think-aloud) sağlama [7, 8, 26, 27], gözlem yapma [27], kullanıcı hareketlerinin görüntülü/sesli kaydedilmesi [7, 8, 27], ekran hareketlerinin kaydedilmesi [1, 27] vb. yöntemler nitel yöntemlerdir. Kullanılabilirlik testleri için bu yöntemlerden sadece biri seçilebileceği gibi birkaçı birlikte de kullanılabilir. Örneğin, Elzakker ve diğerleri [27] mobil haritaların kullanılabilirliğini test etmek için, nitel yöntemlerden gözlem, sesli düşünme, eş zamanlı ses ve görüntü kaydı, ekran hareketlerinin kaydı ve test sonrası görüşme yöntemlerinin kombinasyonunu kullanmıştır ve yürütülen testler sonucunda genelleştirmenin kullanılabilirlikte en etkili faktör olduğu sonucuna varmıştır. Benzer şekilde, literatürde, yaya navigasyon sistemlerinin geliştirilmesi, [28] bu sistemlerin kullanılabilirliğinin artırılması [29] ve buna ilişkin problemlere çözüm üretilmesi [30] amacıyla gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışmaları da yer almaktadır.

Nitel yöntemlerden farklı olarak nicel yöntemler, kartografik bir gösterimle etkileşim içinde olan kullanıcının hareket ve davranışlarını ölçme, sayma ve miktarını belirleme imkanı sunmaktadır. Görev analizleri (task analysis), kullanıcı anketleri ve göz izleme (eye tracking) en sık kullanılan nicel yöntemler arasındadır. Bu yöntemlerden göz izleme, nörobilişsel bir yöntem olmakla birlikte dışarıdan gözlemlenebilen kullanıcı hareket ve davranışlarını ölçmeye yöneliktir. Fakat “algı” (perception) ile oldukça yakından ilişkili olan “dikkat” (attention) yalnızca dışarıdan gözlem yapılarak ölçülemediği için beyinsel/psikolojik durumu da nicel ve objektif olarak ölçme değerlendirmeyi sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) bu yöntemlerden biridir ve nadir de olsa kartografya alanında bazı kullanılabilirlik çalışmalarında dikkate alınmıştır [31]. Bunun yanı sıra, pek çok alanda gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışmalarında, fMRI gibi nörobilişsel bir yöntem olan

EEG'den (elektroensefalogram) de yararlanılmaktadır. Ancak EEG, daha önce kartografik ürünlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi amaçlı kullanılmamıştır.

3.1. GÖZ İZLEME

Göz izleme (eye tracking) yöntemi, kullanılabilirlik analizi kapsamında kullanıcı deneyimi hakkında bilgi toplamak için sıklıkla uygulanan nicel bir yöntemdir. Bu yöntem, kullanıcının baktığı noktayı (point of regard-POR) belli bir örnekleme oranında kayıt ederek kullanıcının göz hareketlerini izleme imkanı sunar [32]. Yöntem, göz hareketlerinden elde edilen bir dizi koordinatı (x,y) değerlendirerek göz hareketi izleme metrikleri çıkarılmasını sağlar. Bu metrikler; sabitleme (fixation) ve kısa-hızlı göz hareketlerinden (saccade) oluşur. Sabitleme, belirli bir zaman aralığında (asgari 80-100 milisaniye) kaydedilen sabit noktaları (POR) içeren göz hareketidir. Sabitleme esnasında, kullanıcının o konuma ait bilgi çıkarımı yaptığını varsayılır. Kısa-hızlı göz hareketleri ise, iki sabitleme arasında yaklaşık milisaniyenin onda biri süresince gerçekleşen göz hareketleri olarak tanımlanabilir. Bu esnada herhangi bir bilgi çıkarımı yapılmadığı farzedilir. Sabitleme ve kısa-hızlı göz hareketlerinin tümü tarama yolu (scan path) olarak adlandırılır [33].

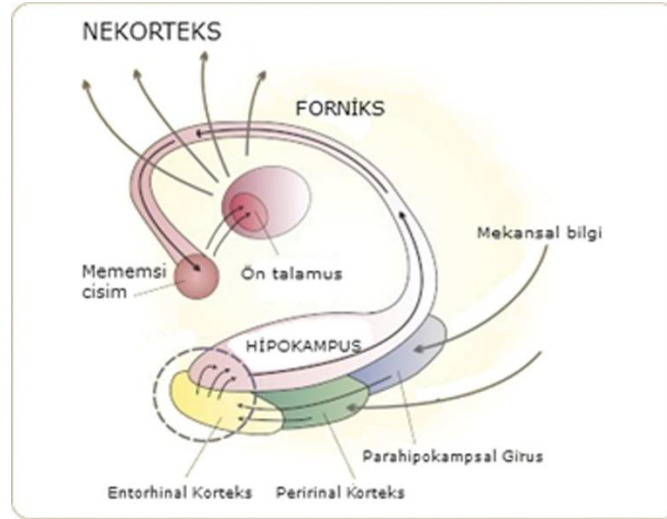
Kartografya alanında ilk göz izleme uygulaması, Jenks [34] tarafından, nokta haritası (dot map) üzerinde kullanıcıların göz hareketlerinin izlenerek bilgi çıkarımı yapma amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sonraki 15 yıllık süreçte farklı araştırmacılar tarafından benzer çalışmalar yapılmıştır [35-38]. Ancak bu çalışmalardan sonra uzunca bir süre, kartografik amaçlı göz izleme yönteminin kullanımına rastlanmamıştır. Bu teknolojinin kartografya alanında yaygın ve etkin kullanılmaması pek çok sebeple açıklanabilir. Bunlar, mevcut çalışmalarda karşılaşılan teknik yetersizliklerin doğruluğu etkilemesi, veriden bilgi çıkarımının karmaşık ve zaman alan süreçleri gerektirmesi ve sonuçları yorumlama güçlüğüdür [39]. Zaman içerisinde göz hareketlerini izleme donanım ve yazılımlarının gelişmesi ve ilgili teknik ekipmanın daha uygun fiyatlarla temin edilebilmesi ile birlikte, yöntemin, özellikle karmaşık görsel ve bilişsel faaliyetler kapsamında, görsel bilginin yorumlanması açısından oldukça faydalı olduğu anlaşılmıştır [32, 33]. Çünkü bu gelişmeler, göz hareketlerini izleme cihazlarıyla ile yapılan ölçmelerin çeşitlendirilmesine olanak vermiştir. Örneğin; önceden kullanıcının sadece nereye ve neye baktığı bilgisine ulaşmak mümkünken, günümüzde ne kadar süreyle, ne sıklıkla o noktaya baktığı ya da kısa-hızlı göz hareketlerinin hızı ve birbirleri arasındaki mesafe gibi bilgiler de elde edilebilmektedir. Bu sayede, göz izleme yöntemi detaylı analizleri mümkün kılmakla birlikte, görsel algı ile ilişkili bilişsel/algısal (cognitive) süreçleri ele alan psikolojik araştırmalara katkı sağlamaktadır [32]. Bu durum, bilişsel kartografyaya ilişkin yeni teori ve yöntemlerin geliştirilmesini de tetiklemiştir [40, 16]. Bahsi geçen teorik çalışmalar ve teknolojik gelişmeler, göz hareketlerini izleme yönteminin kartografya alanında kullanımının yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Örneğin; Çöltekin ve diğerleri [6] interaktif olarak zengin arayüzlerde, kullanıcıların görsel etkileşimlerini incelemiştir. Çalışmada kartografik gösterimlerin tasarımlarının iyileştirmesi için kullanıcı stratejilerinin göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır. Bir başka kartografik çalışmada, kullanıcıların göz hareketlerinin yanı sıra, klavye ve mouse hareketleri de kaydedilmiş ve haritadaki coğrafi koordinatlar ile göz hareketlerinden elde edilen ekran koordinatları arasında dönüşüm parametreleri belirlenerek bir ilişki kurulmuştur [9]. Bu çalışmanın bulgularına göre; eye-tracking yöntemiyle elde edilen göz hareketleri, kullanıcının bilgi çıkarma sürecinde dikkatini yönelttiği referans noktalarını (ana yollar, nehirler vb.), bir başka deyişle, harita üzerindeki yapı elemanları (structuring elements) yansıtmaktadır. Çalışma kapsamında, aynı mekana ait gösterimler arasındaki farkların kullanıcılar tarafından nasıl algılandığı da incelenmiştir. Örneğin; harita objesi ve rengi ya da konumu arasındaki uyumsuzluk gibi küçük hataların kullanıcının algılama sürecine etkisi olmadığı, ancak, harita objelerinin konumlarının ya da yönlerinin farklı veya bir önceki gösterime göre yanlış olması gibi büyük sapmaların kullanıcının daha çok dikkatini çektiği ve kafasının karışmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Harita kullanıcısının, uzun süreli bellek (Long Term Memory) ile işleyen bellek (Working Memory) arasında ilişki kurarak bilgi çıkarımı yaptığı tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, dikkat ve algının, kullanıcı grubunun harita okuma ve yorumlama konusunda uzman olup olmadığına bağlı olarak da farklılık gösterdiği ortaya konmuştur. Bu kapsamda, kartografya konusunda deneyimli uzman kullanıcıların göz hareketleri harita üzerinde görselleştirildiğinde, bu

kullanıcıların, harita üzerindeki yapı elemanlarına odaklandığı tespit edilmiştir. Uzman kullanıcıların harita algısı, haritanın biçimsel ve içerik elemanlarına göre düzenli bir şekilde kurgulanırken, bu durum uzman olmayan kullanıcılar için geçerli değildir. Ayrıca yapılan çalışmalar, uzman kullanıcıların deneyimleri sebebiyle uzman olmayanlara oranla, harita ile ilgili daha fazla bilgiyi, daha kolay hatırladıklarını, eski ve yeni bilgiler arasındaki ilişkiyi daha başarılı bir şekilde kurarak belleklerinde tutabildiklerini ortaya koymuştur. Bir diğer çalışmada, statik haritalarda kullanılan görsel değişkenlerin (renk, biçim, boyut, yön, renk tonu, doku) tematik uygunluğu (thematic relevance) ile kullanıcıda yarattığı algısal belirginlik (perceptual salience) arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun için alışılmadık renkle görselleştirilmiş harita objeleri içeren bir harita (*su bilgisinin kırmızı renkle görselleştirilmesi gibi*) kullanılmıştır. Göz izleme yöntemiyle elde edilen verilere bakıldığında, yanıtıcı renk kullanımı hem uzman, hem de uzman olmayan kullanıcıların dikkatini çekmiştir. Ancak, uzman olmayan kullanıcıların, uzman olanlara oranla daha çok dikkatlerinin dağıldığı tespit edilmiştir. Öte yandan, aynı bilginin sunulduğu farklı tasarımların (*örneğin; bir haritada sıcaklık değerleri görsel olarak baskın olan koyu renk tonlarıyla görselleştirilirken, diğer haritada doygunluğu daha düşük renk tonları ile görselleştirilmesi*) kullanıcıların verdiği doğru cevap oranını değiştirmediği, ancak kullanıcıların haritada cevabı ararken sergilediği davranışları ve cevap verme süresini etkilediği sonucuna varılmıştır [41]. Bu ve benzeri çalışmalar, göz izleme yönteminin pek çok disiplin için kullanılabileceği ve hem dinamik, hem de statik uyarıların kullanıcı hareketlerine etkisini belirlemede umut verici bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

3.2. BEYİN AKTİVİTELERİNİN İZLENMESİ VE GÖRÜNTÜLENMESİ

Göz izleme yöntemi önceki bölümlerde anlatıldığı üzere dışarıdan gözlemlenebilen kullanıcı hareketlerinin tespitini sağlayan yöntemler arasındadır. Fakat algılama sadece gözlemlenebilen dışı vurumlu tepkileri değil içsel tepkileri de içeren bütüncül bir süreçtir. Bu nedenle kullanıcı algısını belirleme ve değerlendirmede beyinsel/psikolojik durumu incelemeye olanak sağlayan yöntemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Tıp alanındaki gelişmeler, beyindeki nöronları yüksek mekansal ve zamansal çözünürlükte gözlemlemeye imkan vermektedir. Bunun sonucu olarak, beynimizde konumlandırmayı sağlayan, bir diğer deyişle “iç GPS”imiz olan hücre (konum/grid hücresi) 2014 yılında University College London’da görev yapan John O’Keefe ile, Norwegian University of Science and Technology’den iki bilim insanı Edvard ve May-Britt Moser’in ortak çalışması ile keşfedilmiştir. Bu keşif, adı geçen araştırmacılara Nobel ödülünü kazandırırken, mekansal algının incelenmesi konusunda önemli olanakların kapısını aralamıştır. İnsan beynindeki konumu algılayan hücreler, orta temporal (şakak) lobdaki bellek ve navigasyon merkezi olan entorhinal kortekste yer almaktadır. Şekil 2’de de gösterildiği gibi entorhinal korteks, hipokampus ve neokorteks arasında bir arayüz görevi görmektedir [42]. Bu durumda, mekansal biliş özelinde hipokampal nörofizyolojik bir olgunun anlaşılabilmesi için mekansal konumun (spatial location) nöron aktiviteleri tetiklediği gerçeğinden yola çıkmak gerekir [43, 44]. Orta temporal lobdaki mekansal gösterimlere ilişkin pek çok çalışma yapılmaktadır. Hipokampustaki bozukluklar, mekansal ilişki kurma ve mekansal öğrenmeye ilişkin çeşitli mekansal biliş yetersizliğine yol açmaktadır. Örneğin; hipokampal bozukluğu olan hastalar, tekil bir güzergah takip ederek hedef mekana ulaşma konusunda hiçbir problem yaşamazken, birden çok güzergah ve mekan söz konusu olduğunda başarı oranının azaldığı gözlemlenmiştir [45]. Bu bulgular, insan bellek sisteminde birden çok güzergah ve ortamı içeren hesaplamaların, büyük çoğunluğunun hipokampusa bağlı olduğunu göstermektedir. İnsan mekansal belleğinin sinirsel altyapısı hipokampusun yanı sıra, görsel-mekansal süreçler ve mekansal gösterimleri içeren parahipokampal korteks ve retrosplenial kortekse de bağlıdır [44]. Hipokampal bozukluğu olan hastaların, birtakım mekansal bellek aktivitelerini sürdürdüğü klinik çalışmalarla kanıtlanmıştır. Ancak bu hastalarda, mekansal işleyiş açısından oldukça önemli olduğu düşünülen hipokampusun arka kısımlarının büyük ölçüde sağlam olduğu gözlemlenmiştir [46]. Buna ek olarak, görsel bölgelerden gelen sinyallerin toplandığı arka parahipokampal korteks, mekansal bellek ve görsel-mekansal bilginin işlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Örneğin; aynı mekansal görevlerin test edildiği bazı çalışmalarda, çok ciddi hipokampal bozukluğu olan hastalarda herhangi bir yetersizliğe rastlanmazken, parahipokampal bozukluğu olan hastalar fark edilir bir şekilde yetersiz olmuşlardır [44, 45, 47].

Tüm bu bulgular, fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) adı verilen ve Kan Oksijenlenme Düzeyine Bağımlı (Blood Oxygenation Level Dependent -BOLD) Sinyal ile sinirsel aktivitenin dolaylı yoldan ölçülmesini sağlayan yöntemin kullanılması ile elde edilmiştir. fMRI yöntemi, fiziksel ve zihinsel aktivitenin beynin hangi bölgelerinden kaynaklandığını, aktivite olan bölgedeki oksijen tüketimi ve enerji metabolizmasındaki artış ve azalışa bağlı olarak yüksek mekansal çözünürlükle görüntüleme imkanı verir. Bu yöntem, tekil nöronların dolayısıyla konum hücrelerinin aktivitelerini yansıtamamasına rağmen, bir grup nöronun aktivitesini izleyerek, navigasyon sırasında bireylerdeki hipokampus ve parahipokampus fonksiyonlarına ilişkin oldukça önemli kanıtlar sunmaktadır. Pek çok fMRI çalışması, dış merkezli mekansal görüntü işleme (allocentric spatial scene processing) parahipokampal korteksin rolü olduğunu göstermektedir [44]. Örneğin; parahipokampal korteks, görme engeli olmayan bireylerde görüntü işleme ve sanal navigasyon sırasında aktif haldeyken, görme engeli olanlarda daha az aktivite göstermektedir [48].



Şekil 2. Hipokampal sistem (Kessels & Kopelman, 2012'den dilimize uyarlanmıştır) [49]

fMRI yöntemine benzer şekilde, EEG (electroencephalogram) de beyindeki sinirsel aktivitelerin gözlenmesi için kullanılmaktadır. EEG yönteminde elektrotlar yardımıyla beyindeki elektriksel aktivite, olay-bazlı potansiyeller (event-related potentials - ERP) olarak yüksek zamansal çözünürlükle kaydedilmektedir. ERP, uyarana karşı farklı kortikal süreçlere bağlı faz farklarını belirlemek amacıyla beyin doğrudan bir algı ya da düşüncenin sonucunda verdiği yanıtın ölçümüdür [50]. Tek başına bir nöron beyinde ölçülebilir bir potansiyeli ortaya çıkarmaya yeterli olamayacağı için, EEG sırasında senkronize olmuş nöronlar topluluğunun aktiviteleri ölçülmektedir. EEG'nin zamansal çözünürlüğü elektriksel ölçmeye dayalı bir yöntem olduğu için milisaniye mertebesindedir.

Görev bazlı (task-related) beyin aktivitelerinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) ise saniye ile dakika aralığında bir zamansal çözünürlüğe sahipken, EEG'ye göre daha yüksek mekansal çözünürlüklü sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, EEG ve fMRI yöntemlerinin eş zamanlı kullanımının, yüksek zamansal ve mekansal çözünürlüklü sonuçların elde edilmesini mümkün kılacağı değerlendirilmektedir [51].

4. YENİ VİZYON: GÖZ İZLEME YÖNTEMİ İLE EEG VE fMRI ENTEGRESYONU

Kullanılabilirlik araştırması için yararlanılan nicel yöntemlerden biri olan göz izleme yönteminin, algının göz ile ilişkisini ortaya koymada oldukça etkili olduğu ampirik çalışmalarla ispatlanmıştır. Ancak algı sürecinin tam olarak anlaşılabilmesi ve incelenmesi için, beynimizin duyularımızdan gelen sinyalleri nasıl anlamlandırıldığını kavramak gerekir. Başka bir deyişle, beynimizin büyük hacimli veriyi değerlendirme ve bu veriden önemli bilgiyi çıkarma sürecini anlamak çok önemlidir. Bunun için dikkat (attention) kavramının bileşenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Literatürde, açık (overt attention) ve örtük dikkat (covert attention) olmak üzere iki tür dikkatten söz edilmektedir. Dışarıdan gözlemlenebilen açık dikkat,

dikkatin bir noktadan diğer noktaya yöneltilmesine eşlik eden göz hareketlerinin varlığıyla tanımlanır. Örtük dikkat ise göz hareketlerinden bağımsız, görsel alanın farklı noktalarına yöneltilen dikkat olarak tanımlanmakla birlikte dışarıdan gözlemlenemeyen bir yapıdadır [52, 53]. Mevcut kullanılabilirlik analiz araştırmalarında, göz hareketlerini izleme yöntemi ile gözün baktığı yerlerin konumu hakkında açık dikkate bağlı önemli bir veri sağlarken, sinirsel (neural) aktivitelere ilişkin gerekli olan veriler elde edilememektedir. Bu nedenle, kartografik ürünlerin kullanılabilirliği analizinde halihazırda kullanılmakta olan göz izleme yönteminin, EEG ve fMRI gibi yöntemlerle eş zamanlı olarak kullanılmasının mevcut araştırmalara önemli bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kartografya disiplininin haricinde EEG ve göz izleme yöntemlerinin birlikte kullanıldığı birtakım çalışmalar mevcuttur. Örneğin, bir hizmet tasarımını, müşteri deneyimi üzerinden test etmek amacıyla üzere kurgulanmış bir çalışmada; EEG ve göz izleme yöntemleri entegre kullanılmıştır. Kullanıcı deneyimi, kullanıcının dikkat seviyesi ve göz hareketleri ölçülerek görselleştirilmiştir. Müşterinin ilgisinin nereye yöneldiğinin tespit edilmesi, özellikle karar vericiler için, müşteri davranışı hakkında somut bir içgörü sunmaktadır [54]. Bir başka çalışmada, okçuluk sporunda mental performansı arttırmak için, sporcunun nörobilişsel (neurocognitive) aktivite ve görsel odağına ilişkin ölçümler yapılmıştır. Söz konusu çalışma kapsamında, yarışma esnasında antrenöre anında geri besleme verebilmenin, sporcunun antrenman protokülünü ona özel tasarlanmanın yanı sıra, göz hareketi ve sinirsel aktivite arasındaki ilişkiyi kurarak görsel stratejiler geliştirmek ve ışığa karşı duyarlılığı azaltacak terapi ya da rahatlama yöntemleri geliştirmek hedeflenmiştir [55].

EEG yöntemi, mevcut çalışmalarda her ne kadar tıbbi amaçlarının dışında (örneğin; *beynin bir gösterime, görüntüye ya da tasarıma vereceği tepkileri ölçen araştırmalarda* [51]) kullanılsa da, kartografik tasarımların algısal olarak incelenmesi ve buna bağlı olarak geliştirilmesi gibi amaçlar için kullanılmamıştır. fMRI yöntemi ise Lobben ve diğerleri tarafından kullanıcıların navigasyon algısını ölçmek için kullanılmıştır [31]. Bahsi geçen çalışma kapsamında gerçekleştirilen testlerde, harita kullanımı sırasında döndürme (rotation) ve takip etme (sleuthing) işlemlerinin beyinde hangi bölgeleri aktive ettiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda, harita kullanıcılarının bireysel performansları ve aynı kullanıcının farklı harita görevlerini (map-related tasks) gerçekleştirirkenki performansları arasındaki farklar ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, takip etme işlemi sırasında uyarılan hücre sayısının, döndürme işlemi gerçekleştirirken uyarılan hücre sayısından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre; takip etme işlemi sırasında beyin sağ ve sol lobundaki aktivasyon miktarı birbirine yakinken, döndürme işleminde beyin sağ lobunun daha aktif olduğu ve farklı işlemlerin beyin farklı bölgelerinin aktive olmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Örneğin; döndürme işlemi, beyin görsel işleme merkezi olan oksipital lobda bulunan yanıl oksipital kıvrımda (lateral occipital gyri) aktivite yoğunluğuna sebep olmuştur. Takip etme görevi sırasında ise; beyinde üst seviye işlemlerin gerçekleştirildiği orta ön kıvrım (middle frontal gyrus), duyuşal reseptörlerin bulunduğu merkez arka kıvrım (postcentral gyrus) ve mekansal biliş ve görsel-mekansal dikkat merkezi olan açısal kıvrımda (angular gyrus) daha çok aktivite gözlemlenmiştir [31].

Sonuç olarak, göz izleme ve fMRI yöntemlerinin kartografik amaçlı kullanılabilirlik çalışmalarında ayrı ayrı kullanımları, harita kullanıcılarının performans ve davranışlarına ilişkin önemli sonuçlar vermiştir. Bu yöntemlere EEG'nin yüksek zamansal çözünürlük avantajı da eklenerek bütünleşik bir kullanılabilirlik değerlendirmesinin yapılması, uzun vadede, harita kullanıcılarının bireysel performansları arasındaki farklılıkların anlaşılması adına önemli bir potansiyel içermektedir. Bu potansiyelin, kullanıcı-merkezli tasarımlar yapılırken dikkat edilmesi gereken parametrelerin belirlenmesi konusunda da yenilikler sunabileceği değerlendirilmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, ülkemizde geomatik mühendisliği alanında süregelen geleneksel uygulamaların yanı sıra, disiplinin temel ürünleri olan mekânsal gösterimlerin, yani haritaların, kullanılabilirliğinin araştırılmasının

önemine değinmektedir. Özellikle zamansal gösterimler gibi yeni nesil kartografik ürünlere ilişkin kullanılabilirlik çalışmalarının yetersizliği, bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmalar, hem nitel, hem de nicel yöntemlerin kullanıcı davranışları hakkında oldukça önemli bulgular sağladığını göstermektedir. Bu bulgulara ek olarak, yaş, eğitim, cinsiyet, kültür gibi farklılıkların dikkate alınması, daha etkin ve verimli kullanıcı merkezli tasarımların yapılmasını mümkün kılacaktır. Çünkü kullanıcı profilleri, mekansal algının ölçülmesi ve değerlendirmesinde elde edilecek sonuçlar açısından oldukça önemli ve gereklidir.

Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemlerinde yaşanan gelişmeler ile halihazırda birçok farklı disiplinle ortak çalışmalar yürüten geomatik mühendislerinin tıp doktorları ile yeni alanlarda da birlikte çalışması gerektiği, bu çalışma ile bir kez daha vurgulanmıştır. İnsan vücudu ve organları da bir mekan olarak algılandığında, o mekanların ölçme ve değerlendirmesinde kullanılan göz izleme, EEG ve fMRI gibi yöntemlerin ve bu yöntemlerdeki gelişmelerin, Geomatik Mühendisliği'ne yeni ufuklar ve araştırma konuları açarak katkıda bulunduğu bu çalışma ile örneklendirilmeye çalışılmıştır. Bu açıdan EEG ve fMRI, kartografik ürünlerin kullanılabilirliğine ilişkin yapılan mevcut çalışmalara ek olarak kullanım potansiyeli olan nicel yöntemler şeklinde değerlendirilebilir. Hatta, EEG ve fMRI yöntemlerinin, tıpkı kartografya alanındaki mevcut göz izleme çalışmalarında olduğu gibi, nitel yöntemlerle birlikte kullanılması, kullanıcı davranışları hakkında önemli içgörüler edinilmesine olanak sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

1. Ooms, K. & De Maeyer, P. (2015). Georeferencing Eye tracking Data on Interactive Cartographic Products. *International Cartographic Conference Proceedings*, Rio de Janeiro, Brazil.
2. Fabrikant, S. I., & Lobben, A. (2009). Introduction: cognitive issues in geographic information visualization. *Cartographica*, 44(3), 139-143.
3. MacEachren A. M., & Kraak M.-J. (2001). Research Challenges in Geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 3–12. doi: 10.1559/152304001782173970
4. Montello, D. R. (2009). Cognitive research in GIScience: Recent achievements and future prospects. *Geography Compass*, 3(5), 1824-1840.
5. Montello, D. R. (2002). Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches. *Cartography and Geographic Information Science*. 29(3), pp. 283-304.
6. Çöltekin, A., Fabrikant, S. I., & Lacayo, M. (2010). Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(10), 1559-1575.
7. Fabrikant, S. I., Rebich-Hespanha, S., Andrienko, N., Andrienko, G., & Montello, D. R. (2008). Novel Method to Measure Inference Affordance in Static Small-Multiple Map Displays Representing Dynamic Processes. *The Cartographic Journal*, 45(3), 201–215. doi:10.1179/000870408x311396
8. Kveladze, I. (2015). *Space-time Cube Design and Usability* (PhD dissertation). ITC, University of Twente, the Netherlands.
9. Ooms, K., Coltekin, A., De Maeyer, P., Dupont, L., Fabrikant, S., Incoul, A., Van der Haegen, L. (2014). Combining user logging with eye tracking for interactive and dynamic applications. *Behavior Research Methods*. doi:10.3758/s13428-014-0542-3
10. Güç, B., Gencil, Z., & Karadayı, A. (2012). Mekan-Kullanıcı İlişkilerinin Hastane Örneğinde Sayısal Olarak Modellenmesi. *SDU International Journal of Technological Science*, 4(1).
11. Boulding, Kenneth E., (1956). *The Image*. Ann Arbor: University of Michigan Press. p. 150-151
12. Lynch, K. 1960. *Image of the City*, the M.I.T. Press, Cambridge.
13. Freksa, C. (2013). Spatial computing – How spatial structures replace computational effort. In: Raubal M., Mark D. & Frank A. (Eds) *Cognitive and linguistic aspects of geographic space, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography* (pp 23–42). Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

14. Shneiderman, B. (1996). The Eyes Have it: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations, in the *1996 IEEE Symposium on Visual Languages* (pp. 336-343). Boulder, Colorado.
15. ISO (International Organization for Standardization), (1988). *ISO 9241-11: Kullanılabilirlik rehberi*, alınan yer http://www.usabilitynet.org/tools/r_international.htm#9241-11, Son Erişim Tarihi: 08.06.2016.
16. Slocum, T. A., Blok, C., Jiang, B., Koussoulakou, A., Montello, D. R., Fuhrmann, S., & Hedley, N. R. (2001). Cognitive and usability issues in geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(1), 61-75.
17. MacEachren, A. M., Edsall, R., Haug, D., Baxter, R., Otto, G., Masters, R., Fuhrmann S., & Qian, L. (1999). *Exploring the potential of virtual environments for geographic visualization*. Alınan yer <http://www.geovista.psu.edu/publications/aag99vr/fullpaper.htm>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016.
18. Amar, R., Eagan, J., & Stasko, J. (2005). Low-level components of analytic activity in information visualization, in *IEEE Symposium on Information Visualization* (pp. 111-117). Baltimore, Maryland,.
19. Casner, S. M. (1989). A Task-Analytic Approach to the Automated Design of Information Graphics. 'Carnegie Mellon University Technical Report AIP – 82, 42 pages'.
20. Casner, S. M. (1991). A Task-Analytic Approach to the Automated Design of Graphic Presentations, *ACM Transactions on Graphics*, 10(2), 111-151.
21. Roth, S. F. & Mattis J. (1990). Data characterization for intelligent graphics presentation, *Proc. CHI '90*, pp. 193-200.
22. Roth, R. E. (2012). Cartographic Interaction Primitives: Framework and Synthesis, *The Cartographic Journal*, 49(4), 376-395.
23. Knapp, L. (1995). A Task Analysis Approach to the Visualization of geographic data., in T. L. Nygers, D. M. Mark, R. Laurini, & M. J. Egenhofer, (Eds) *Cognitive aspects of human-computer interaction for geographic information systems*, ed. By, pp. 355-371, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
24. CCS, (1995). Committee on the Conduct of Science, National Academy of Sciences, *On being a scientist*, 2nd ed. Washington, D.C.: National Academy Press.
25. Kristensson P. O., Dahlba N., Anundi D., Bjornstad M., Gillberg H., Haraldsson J., Martensson I., Nordvall M. & Stahl J. (2009). An Evaluation of Space Time Cube Representation of Spatiotemporal Patterns, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(4), 696-702.
26. MacEachren, A. M., Boscoe, F. P., Haug D., & Pickle, L. W. (1998). Geographic visualization: Designing manipulable maps for exploring temporally varying georeferenced statistics. In *Proceedings, Information Visualization '98, Research Triangle Park, North Carolina, IEEE Computer Society*, pp. 87-94. Alınan yer <http://www.geog.psu.edu/MacEachren/hvisbcd.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016.
27. Elzakker, van C.P.J.M., I. Delikostidis & P. van Oosterom. (2008). Field-based Usability Evaluation Methodology for Mobile Geo-applications. *The Cartographic Journal*, 45(2), 139-149.
28. Delikostidis, I. (2011). *Improving the Usability of Pedestrian Navigation Systems* (PhD dissertation). Twente University, The Netherlands.
29. Delikostidis, I., J. Engela, B. Retsiosa, van C.P.J.M. Elzakker, M.J. Kraak, and J. Döllnera. (2013). Increasing the Usability of Pedestrian Navigation Interfaces by means of Landmark Visibility Analysis. *Journal of Navigation* 66(4), 523-537.
30. Delikostidis, I., van C.P.J.M., Elzakker and M.J. Kraak. (2015). Overcoming challenges in developing more usable pedestrian navigation systems. *Cartography and Geographic Information Science*. doi: 10.1080/15230406.2015.1031180
31. Lobben, A. K., Olson, J. M., & Huang, J. (2005). Using fMRI in cartographic research. In *Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference* (p. 10).
32. Ooms, K. (2012). *Maps, how do users see them?: an in depth investigation of the map users' cognitive processes* (Doctoral dissertation). Ghent University, Belgium.

33. Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology-Theory and practice*. London:Springer.
34. Jenks, G. F. (1973). Visual integration in thematic mapping: Fact or fiction?. *International Yearbook of Cartography*, 13, 112-127.
35. Dobson, M. W. (1977). Eye movement parameters and map reading. *Cartography and Geographic Information Science*, 4(1), 39-58.
36. Castner, H. W., & Eastman, J. R. (1984). Eye-movement parameters and perceived map complexity I. *American Cartographer*, 11(2), 107-117.
37. Castner, H. W., & Eastman, J. R. (1985). Eye-movement parameters and perceived map complexity II. *American Cartographer*, 12(1), 29-40.
38. Steinke, T. R. (1987). Eye movement studies in cartography and related fields. *Cartographica*, 24(2), 40-73.
39. Jacob, R., & Karn, K. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In R. Radach, J. Hyona & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 573-605). Amsterdam: Elsevier.
40. MacEachren, A. M. (1995). *How maps work: Representation, visualization, and design*. New York: Guilford Press.
41. Fabrikant, S. I., Hespanha, S. R., & Hegarty, M. (2010). Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(1), 13-29.
42. UCL News (2014). *Professor John O'Keefe wins Nobel Prize for Physiology or Medicine*. Alınan yer <https://www.ucl.ac.uk/news/news-articles/1014/061014-john-okeefe>. Son Erişim Tarihi: 15.04.2016
43. O'Keefe, J., & Dostrovsky, J. (1971). The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely moving rat. *Brain Research*, 34, 171-175. doi:10.1016/0006-8993(71)90358-1
44. Redish, A. D., & Ekstrom, A. (2013). Hippocampus and related areas: What the place cell literature tells us about cognitive maps in rats and humans. In Waller, D., Nadel, L. (Eds) *Handbook of spatial cognition*, (pp. 15-34). Washington, DC, US: American Psychological Association, x, 309 pp. <http://dx.doi.org/10.1037/13936-002>
45. Bohbot, V. D., Lerch, J., Thorndyraft, B., Iaria, G., & Zijdenbos, A. P. (2007). Gray matter differences correlate with spontaneous strategies in a human virtual navigation task. *The Journal of Neuroscience*, 27, 10078-10083. doi:10.1523/JNEUROSCI.1763-07.2007
46. Corkin, S., Amaral, D. G., Gonzalez, R. G., Johnson, K. A., & Hyman, B. T. (1997). H. M.'s medial temporal lobe lesion: Findings from magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 17, 3964-3979.
47. Ploner, C. J., Gaymard, B. M., Rivaud-Pechoux, S., Baulac, M., Clemenceau, S., Samson, S., & Pierrot Deseilligny, C. (2000). Lesions affecting the parahippocampal cortex yield spatial memory deficits in humans. *Cerebral Cortex*, 10, 1211-1216. doi:10.1093/cercor/10.12.1211
48. Deutschländer, A., Stephan, T., Hufner, K., Wagner, J., Wiesmann, M., Strupp, M., Brandt, T., & Jahn, K. (2009). Imagined locomotion in the blind: An fMRI study. *NeuroImage*, 45, 122-128. doi:10.1016/j.neuroimage.2008.11.029
49. Kessels, R. P., & Kopelman, M. D. (2012). Context memory in Korsakoff's syndrome. *Neuropsychology Review*, 22(2), 117-131.
50. Winslow, B., Carpenter, A., Flint, J., Wang, X., Tomasetti, D., Johnston, M., & Hale, K. (2013). Combining EEG and Eye Tracking: Using Fixation-Locked Potentials in Visual Search. *Journal of Eye Movement Research*, 6(4), 1-11.
51. Lee, H., Lee, J., & Seo, S. (2009). Brain Response to Good and Bad Design. *Lecture Notes in Computer Science*, 111-120. doi:10.1007/978-3-642-02574-7_13
52. Görden, K. (2010). Combining Eyetracking and EEG. *Publications of the Institute of Cognitive Science*, 15.
53. Kaçar, F. (2014). Alzheimer Tipi Demansta İç ve Dış Kaynaklı Dikkatin Duygusal Bağlam Ve Konum Açısından İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Psikoloji Bölümü.

54. Alves, R., Lim, V., Niforatos, E., Chen, M., Karapanos, E., & Nunes, N. J. (2012). Augmenting Customer Journey Maps with quantitative empirical data: a case on EEG and eye tracking. Alınan yer <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1209/1209.3155.pdf>. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016.
55. Barfoot, K. M., Matthew, M. C., & Callaway, A. J. (2012). Combined EEG and eyetracking in sports skills training and performance analysis. In *World Congress of Performance Analysis of Sport IX*, University of Worcester. Alınan yer http://www.alpha-active.com/Alpha-Active_%20WCPAS9_Final.pdf. Son Erişim Tarihi: 08.06.2016.