

Harita Kullanıcılarının Davranışlarının Göz İzleme, Elektroensefalogram ve Dijital Taslak Haritalar Yardımıyla İncelenmesi

Investigation of Map Users' Behaviors Using Eye Tracking, Electroencephalogram and Digital Sketch Maps

Merve Keskin^{1,2}, A. Özgür Doğru^{2*}, Kristien Ooms¹, Philippe De Maeyer¹

¹Ghent Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, 9000, Ghent/Belçika.

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Sarıyer, İstanbul/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Ahmet Özgür Doğru
ozgur.dogru@itu.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.844770

Yayın süreci

Geliş tarihi: 21.12.2020
Kabul tarihi: 06.02.2021
Basım tarihi: 13.03.2021

Özet

Bu çalışma, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarının mekânsal bellek yeteneklerini incelemeye yönelik kullanıcı deneylerinin tasarım süreçlerine odaklanmıştır. Deneylerde, farklı harita kullanıcı gruplarının haritaların içeriğini hatırlamaları istendiğinde geliştirdikleri dikkate bağlı bilişsel stratejilerini açığa çıkarmada kullanılan bilişsel yük; taslak haritalar, göz izleme ve elektroensefalogram (EEG) gibi farklı yöntemlerden yararlanılarak ölçülmüştür. Birinci deneyde kullanıcılardan, basitleştirilmiş bir 2B topografik haritanın ana yollar, yerleşim, su ve yeşil alanlar gibi temel yapı elemanlarını, zaman kısıtlaması olmaksızın, ezberleyerek hatırladıklarını serbest elle çizmeleri istenmiştir. Görev sırasında kullanıcıda açığa çıkan bilişsel yük, çizilen taslak haritaların analizinin yanı sıra, sabitleme ve ilgi alanı (Aol) tabanlı göz izleme ve ortalama alfa gücü ve frontal alfa asimetrisi (FAA) gibi EEG metriklerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Karmaşık yapıda tasarlanan ve farklı zorluk seviyelerini içeren ikinci deneyde, çoktan seçmeli grafikler kullanılmış ve denemelerde zaman kısıtlaması uygulanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi aşamasında, ilk deneyden farklı olarak, bilişsel yük tespiti için EEG güç spektral yoğunluk değişimlerinden yararlanılmış; pariyetal alandaki alfa ve frontal alandaki teta frekanslarının olaya bağlı (de)senkronizasyonları dikkate alınmıştır.

Anahtar kelimeler: EEG, Göz izleme, Taslak haritalar, Bilişsel Kartografya

Abstract

This study focused on the design processes of user experiments conducted to examine the spatial memory abilities, differences and similarities of expert and novice map users. In the experiments, different map user groups were asked to remember the content of maps with uniform or various levels of detail. The cognitive load of the participants that reveals their cognitive strategies depending on the attention they developed was measured using different methods such as sketch maps, eye tracking and electroencephalogram (EEG). In the first experiment, the users were asked to memorize the main structuring elements of a simplified 2D topographic map such as major roads, settlements, green areas and waterbodies without any time limitation, and in the next step, to draw what they remember with free hand. Next to the digital sketch map evaluation, cognitive load was assessed based on the fixation and Aol-based (area of interest) eye tracking metrics, together with EEG mean alpha power and frontal alpha asymmetry (FAA). The second experiment was designed in a more complex structure and included different difficulty levels and multiple-choice graphical options instead of hand-drawn sketch maps. Different from the first experiment, event-related (de)synchronization of alpha for parietal region and theta for frontal region were considered for evaluating the cognitive load through the calculations of EEG power spectral density changes.

Keywords: EEG, Eye tracking, Sketch map, Cognitive cartography

1. Giriş

Harita kullanıcısının haritayı algılama becerisi ve performansı, harita kullanımı sırasında (kendisinden istenen görevleri (ing. user-tasks) gerçekleştirirken) sergilediği davranışlarıyla ilişkilidir. Bilişsel kartografya (ing. cognitive cartography), harita kullanıcılarının harita ile etkileşimleri esnasındaki bilişsel süreçlerini anlamaya yönelik çalışmaları kapsar (Montello, 2002). Bu bilişsel süreçleri incelemek, kullanıcının algı, kısıt ve yeteneklerini anlamının ötesinde, harita tasarımına ilişkin kullanıcı geri beslemesini, haritanın tasarım aşamasında girdi olarak kullanma imkânı sunmaktadır. Mevcut harita tasarımlarının iyileştirilmesi, kullanıcı ile birlikte tasarlayabilme ve dolaylı olarak kullanıcının harita algısını iyileştirme, harita kullanımını olduğundan daha verimli ve kolay hale getirmek, bu imkânlardan bazılarıdır. Kartograflar, harita kullanıcısının, harita bilgisini tespit ederse, onlara yüksek bilişsel yüke (ing. cognitive load) neden olmayan daha efektif harita tasarımları sunabilirler (Keskin vd., 2019).

Harita kullanımına etki eden yaş, cinsiyet, eğitim, uzmanlık, kültürel altyapı vb. gibi pek çok kişisel (kullanıcıya özgü) faktörün yanı sıra, temel öneme sahip iki etken: harita tasarımında görsel değişkenlerin kullanımı ve kullanıcının gerçekleştirmesi gereken harita görevidir. Bertin (1967) tarafından önerilen görsel değişkenler (ing. visual/graphic variables) (renk, biçim, boyut, yön, renk tonu, doku), harita işaretlerinin tasarım süreçlerinin temel yapı taşlarıdır. Tasarım süreçlerinde bu değişkenlerin etkin kullanımı; haritanın görsel hiyerarşisinin sağlanmasında, dolayısıyla harita mantığının kurulması, harita işaretlerinin gruplandırılması ve haritadan bilgi çıkarımında da önemli rol oynamaktadır. Harita tasarımı sırasında kartografin belirlediği görsel değişkenler, harita kullanıcısının haritayı algılayış ve kullanım biçimine doğrudan etki edecektir. Haritanın algılanışı ve kullanım biçimi, kullanım amacına, bir diğer deyişle, kullanıcının haritada neyi sorgulayacağına bağlıdır. Çünkü bilişsel süreçler büyük ölçüde spesifik bir harita sorgusu ya da herhangi bir harita görevi sırasında anlık olarak gerçekleşmektedir (Keskin vd., 2019). Örneğin, kullanıcı aşına olduğu bir harita üzerine yine alışkın olduğu bir sorgu mu gerçekleştiriyor, yoksa harita içeriğini, uzun süreli belleğinde (ing. long-term memory) tuttuğu geçmiş bilgi ve deneyimlerden yararlanarak yorumlamasını gerektiren bir bilgi çıkarımında mı bulunuyor? Bu anlık süreçlerin belirteçleri aynı zamanda, yukarıda bahsettiğimiz harita kullanımına etki eden kişiye özgü faktörlerle ilişkilidir. Farklı harita kullanıcılarının uzun süreli belleklerinde sakladıkları bilgilerin farklılaşması nedeniyle, harita okurken her kullanıcının farklı stratejiler/yöntemler geliştirmesi beklenen bir durumdur. Uzmanlığı kişisel bir faktör olarak göz önünde bulundurursak, bu stratejilerin temelde genel ya da özel harita bilgisine bağlı olarak gerçekleştirildiği değerlendirilmektedir (Kulhavy ve Stock, 1996). Harita ile ilgili gerçekleştirilecek herhangi bir görev sırasında, özellikle uzman olmayan kullanıcılar, öncelikle genel harita bilgilerine başvururlar (örneğin, eş yükseklik eğrilerinin yükseklik bilgisini içerdiğini bilmek). Özel harita bilgisi ise uzmanların, uzman olmayanlara kıyasla daha yapısal ve sistematik bir şekilde mekânsal ilişkiler kurmalarını sağlar (örneğin, eş yükseklik eğrilerinden yararlanarak eğim hesaplamak) (Keskin, vd., 2019). Çalışma kapsamında, bu hipotezden yola çıkarak, uzmanlığın, haritadaki mekânsal bilginin hatırlanması özelindeki anlık süreçlere etkisini incelemek amacıyla çeşitli deneysel yöntemlerden yararlanarak deneyler tasarlanmıştır.

Kartografik bir gösterimin kullanılabilirliğini ölçmek, kullanıcı performansını değerlendirmekle mümkündür. Bunun için pek çok nitel ve nicel deneysel yöntem bulunmaktadır. Nitel yöntemler “kullanıcının deneyim, hareket ve davranışlarını; kullanıcının tepkilerine sebep olan duygu ve düşünceleri de içererek inceler” (örneğin, derinlemesine görüşme, odak grubu görüşmesi, katılımcıların yüksek sesle düşünmesini sağlama, vb.). Nicel yöntemler ise “herhangi bir uyaran ile etkileşim içinde olan kullanıcının hareket ve davranışlarını ölçme, sayma ve miktarını belirleme imkanı sunar”. Yapılandırılmış gözlem, göz izleme, EEG, vb. bu yöntemlere örnek olarak sunulabilir (Keskin vd., 2016, s. 5). Taslak haritalar (ing. sketch map) ise, bireylerin zihinsel/bilişsel haritalarının (ing. mental map, cognitive map) yansımaları olduğundan mekânsal belleği ölçmede güvenilir kabul edilen, niteliği nicel olarak değerlendirilebilen araçlardır (Gardony vd., 2016). Forbus, Usher ve Chapman'a (2004, s. 61) göre taslak haritalar “harita üzerinde gerçekleştirilen göreve bağlı olarak, bir durumun temel mekânsal özelliklerini ifade eden ve bu özellikli amaca katkı sağlamayan tüm detayların soyutlanması ile elde edilen kompakt mekânsal temsiller” olarak tanımlanmaktadır. O halde, taslak haritaların analizi ve yorumlanması, bireyin harita görevine bağlı gerçekleşen bilişsel süreçlerinin açığa çıkarılması demektir (Keskin vd., 2018). Pek çok çalışmada kullanılmasına (Billinghurst ve Weghorst, 1995; Forbus vd., 2004; Huynh ve Doherty, 2007; Bell ve Archibald, 2011; Ooms, 2012) ve mekânsal belleğin analizinde önemli bir rol oynamasına rağmen taslak haritaların nicel olarak değerlendirilmesi, diğer bir deyişle puanlanması, hala külfetli ve herhangi bir standarda tabi olmayan bir yöntemdir.

Nicel yöntemlerden biri olan göz izleme, dışarıdan gözlemlenebilen kullanıcı hareket ve davranışlarını ölçmeye yönelik (ing. overt attention), kişinin ekran ya da fiziksel dünyada hangi anda nereye baktığını tespit etmeye yarayan bir teknolojidir. Göz izleme, deneysel psikoloji, yazılım mühendisliği ve pazarlamadan, spor, havacılık ve navigasyon benzeri birçok farklı disiplini kapsayan, insan-bilgisayar etkileşimi eksenindeki kullanılabilirlik çalışmalarına katkıda bulunmuştur (Jacob ve Karn, 2003; Wedel ve Pieters, 2008; Bertrand ve Thullier, 2009). Birçok kartograf, özellikle görsel öğelerin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen kullanılabilirlik araştırmalarında, göz izleme yönteminden yararlanmıştır (Çöltekin vd., 2010; Fabrikant, vd. 2010; Dickmann vd., 2017).

Kullanıcı eylem ve davranışlarını göz izleme gibi tekniklerle ölçmenin yanı sıra, kullanıcıların karar verme süreçlerinin kaynağını oluşturan zihinsel/psikolojik süreçlerini çözümlenmek de oldukça önem kazanmıştır. Beynin anlaşılmasına katkı sağlayan teknolojik gelişmelerden fMRI (fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme) ve Elektroensefalogram (EEG) gibi beyin görüntüleme teknikleri sayesinde nöronların etkileşimlerini doğrudan izlemek mümkündür. Örneğin, EEG; beyin içindeki nöronların etkileşimi sonucu üretilen elektriksel aktivitenin, hangi duyuşal sistemin test edildiğine bağlı olarak değişen bölgelerine yerleştirilen elektrotlar (frontal, temporal, parietal, vb.) yardımıyla yüksek zamansal çözünürlükle kaydedilmesidir (Lee vd., 2009). Tıpkı göz izleme gibi, EEG de yeni bir yöntem değildir ancak göz izlemenin aksine, dışarıdan gözlemlenemeyen örtülü dikkatin (ing. covert attention) ölçülmesinde kullanılmaktadır, örneğin; beyin belirli bir görselleştirme, imge ya da tasarıma nasıl cevap verdiğini anlamak gibi (Lee vd., 2009; Winslow vd., 2013). Bu yönüyle EEG, harita kullanıcısının kartografik ürünle etkileşimi boyunca açığa çıkan dikkate bağlı bilişsel süreçlerin zamanlaması hakkında detay veren bir veri kaynağı olma potansiyelini taşımaktadır.

Yukarıda bahsi geçen yöntemler ayrı ayrı uygulanabileceği gibi, kullanılabilirlik araştırması süresince aynı anda ya da farklı aşamalarda bir arada kullanılabilirler (ing. mixing methods). Birden fazla veri toplama yönteminin birlikte kullanılması yaklaşımı triyagülasyon olarak adlandırılır (Maxwell, 1996). Roth (2013), kartografik deney tasarımında triyagülasyonun sağladığı faydaları aşağıdaki gibi özetlemiştir (Roth, 2013):

- Verimlilik (ing. Efficiency): Sonuca daha hızlı/ekonomik ulaşmak için yakınsak yöntemleri kullanmak.
- Etkinlik/efektiflik (ing. Effectiveness): Aynı soruya farklı yollardan yaklaşarak yöntem kısıtlamalarını aşmak.
- Güvenilirlik (ing. Reliability): Bulgulara olan güveni arttırmak için farklı yöntemlerle elde edilen sonuçları birleştirerek yorumlamak.
- Geçerlilik (ing. Validity): Tüm olası kullanıcı ve kullanım bağlamlarında tekrarlanabilirliğini artırmak.
- Önem (ing. Significance): Tek bir projede birbiriyle ilişkili çok sayıda araştırma sorusunu ele almak.
- Sersemlik (ing. Stupidity): İlk seferde bir şeylerin unutulmasını önlemek.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedildiği gibi, farklı yöntemler kullanmanın getirdiği avantajları göz önünde bulundurarak, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcı gruplarının mekânsal bellek kapasite, yetenek, farklılık ve benzerliklerini tespit etmek amacıyla kartografik bağlamda gerçekleştirilen kullanıcı deneylerinin tasarım süreçleri ele alınmıştır. Bu kapsamda, harita kullanıcılarından belli bir haritanın içeriğini hatırlamaları istendiğinde geliştirdikleri bilişsel stratejiler; dijital taslak haritalar, göz izleme ve EEG yöntemleri kullanılarak incelenmesi ve bilişsel yük ölçümleri yardımıyla bu iki grubun kıyaslanması amaçlanmıştır. Deneylere konu olan ve harita içeriğini sonradan hatırlamak üzere gerçekleştirilmesi beklenen ezberleme görevi, başka deyişle, mekânsal bellek görevi, harita kullanıcılarının beyindeki bilişsel harita üretimini (ing. cognitive map production) tetiklemekte ve dolayısıyla bu durum bahsi geçen yöntemlerle ölçülebilen bir bilişsel yüke neden olmaktadır. Bilişsel yükün tespiti, kullanıcı deneylerinin nasıl ve hangi amaçla tasarlandığı ile doğrudan ilişkilidir ve bu çalışmada kartografik kullanıcı deneylerinin tasarım elemanları ve süreçleri ele alınmıştır.

2. Veri ve Yöntemler

Belirlenen araştırma sorusuna bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler, gruplar-arası (ing. between subjects) ve gruplar-ıç (ing. within subjects) deneysel tasarım yöntemlerinin birleştirildiği karışık desende (ing. mixed design) tasarlanmıştır. Bunun sebebi de uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarından oluşan iki deney grubunun; az sayıda ya da tekrarlı ölçümlerle aynı ya da farklı koşullarda karşılaştırılmak istenmesidir. İlk deneyde öncelikle göz izleme ve EEG cihazlarının senkronizasyonunun sağlandığından emin olmak, EEG verisini tanımak ve toplanan veri üzerinden genel çıkarımlar yapmak üzere, basit bir araştırma sorusu ele alınmış, tek bir harita uyarısı için uzun süren ama tek bir denemeden oluşan ve fazla sayıda katılımcıyı içeren bir deney tasarımı yapılmıştır. İkinci deneyde ise ilk deneyde de yer alan fakat daha fazla iç görüye sahip olmak istenilen hususlar detaylandırılıp, farklı harita uyarıları kullanılarak kısa süreli ve çoklu denemelerden oluşan daha karmaşık bir deney tasarımı benimsenmiştir. Özellikle ikinci deneyde, ilk deneyin tasarım süreçlerindeki deneyimsizlikten kaynaklanan eksik unsurların sürece dâhil edilmesi sağlanmıştır.

Her iki deneyde de katılımcılardan, yaşları, cinsiyetleri, eğitim düzeyleri vb. soruları içeren bir anket doldurmaları istenmiştir. Katılımcılardan uzman olanlar, geomatik mühendisliği, coğrafya, coğrafi bilgi sistemleri ya da ilgili alanlarda asgari olarak yüksek lisans eğitimini tamamlamış kişiler arasından belirlenirken bu tanımın dışında kalan katılımcılar, uzman olmayan kategorisinde değerlendirilmiştir.

Tasarlanan ve uygulanan deneyler Gent Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Etik Kurulu tarafından onaylanmış ve aynı fakültenin pazarlama bölümündeki nöro-laboratuvarda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde eşzamanlı ve senkronize bir şekilde, katılımcı monitörüne monte edilmiş SMI RED 250 göz izleme cihazı aracılığıyla katılımcıların göz hareketleri ve BIOPAC'ın EEG modüllerine bağlı, uluslararası 10-20 sistemi ile elektrotları yerleştirilmiş olan EEG şapkasının 16 elektrodundan çıkan EEG sinyalleri kaydedilmiştir. EEG ve göz izleme sistemlerinin senkronize ve eş zamanlı veri toplamasının nedeni, göz hareketlerinden kaynaklı gürültünün (örneğin, göz kırpması) EEG verisi üzerinde tespit edilmesi ve gürültü içeren EEG verisinin ana veri kümesinden elimine edilmesini sağlamaktır.

EEG ve göz izleme cihazının veri toplama sürecindeki senkronizasyonu, bütünleşmiş devreler yapmak için yaygın olarak kullanılan bir teknoloji olan TTL (transistör-transistör mantığı) ile sağlanmıştır. Harita uyarıları, katılımcı monitörü diye isimlendirdiğimiz 1680 x 1050 çözünürlükte 22" renkli bir monitörde gösterilmiştir (Keskin vd., 2019).

2.1 Deney I

Kullanıcıların 2B dijital statik bir harita üzerinde mekânsal bellek görevini gerçekleştirirken gelişen bilişsel süreçlerini incelemek amacı ile tasarlanan ilk deneyde araştırma sorusu şöyledir; "bir harita uyarısının temel yapı elemanlarını zaman kısıtlaması olmadan ve sonradan hatırlamak üzere ezberlerken bilişsel yük, uzman ve uzman olmayanlar arasında nasıl değişmektedir?". Deneye 24'ü uzman (13 kadın - K, 11 erkek - E), 30'u uzman olmayan (7K, 23E) ve yaşları 18-35 arasında değişen toplamda 54 kişi katılım göstermiştir. Katılımcılardan, herhangi bir zaman kısıtlaması olmaksızın (Belçika 1 : 10 000 ölçekli topografik haritalarından eş yükseklik eğrilerinin elimine edilmesi ile) basitleştirilmiş bir topografik haritanın temel yapı elemanlarını (yollar, yerleşim bölgeleri, hidrografik objeler ve yeşil alanlar) ezberlemesi ve sonraki aşamada bu haritayı dijital ortamda serbest elle çizmesi istenmiştir (Şekil 1). Deney süresince kaydedilen göz izleme ve EEG verisi tekli denemelerden (ing. single trials) ve uzun kayıtlardan (deneme süresi: M=90.2s, STDEV=59.6s) oluşmaktadır. Deney, "gerçekleştirilen görev uzman olmayan kullanıcılarda, uzman olanlara kıyasla daha fazla bilişsel yükü neden olur" hipotezini test etmek üzere kurgulanmıştır. Bu kapsamda mekânsal bellek görevi sırasında bilişsel yükün tespiti; dijital taslak haritalar, deneme süresi, sabitleme ve AoI (ilgi alanı, ing. area of interest) tabanlı göz izleme ile ortalama alfa gücü ve frontal alfa asimetrisi (FAA) EEG metriklerinden yararlanılarak yapılmıştır. Söz konusu bu metrikler deneyin bağımlı değişkenlerini oluşturmaktadır.

Dijital taslak haritalar, çizilen temel yapı elemanlarının çizim sırası ve bu elemanlara ilişkin Bertin'in (1967) görsel değişkenlerinden renk, boyut ve biçime dayalı özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme ölçütlerinden çizim sırası hangi tür objelerin bellekte daha kolay erişilebilir, yani hatırlanabilir olduğunun yorumlanması ve bilişsel haritanın hiyerarşik yapısının anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Çizim sırasının analizi için, Ooms vd. (2015) tarafından, ilk çizilen elemana en yüksek ve en son çizilene ise en düşük puan karşılık gelecek şekilde geliştirilen puanlama sistemi uygulanmıştır. Yüksek puanlar, dört kategoriden birine ait belirli bir elemanın (yol, yerleşim bölgesi, hidrografik obje, yeşil alan) diğerlerinden daha önce çizildiğini göstermekte; örneğin, bir kategori 100 tam puan alıyorsa, bu o kategorinin tüm katılımcılar tarafından ilk sırada çizildiği anlamına gelmektedir.

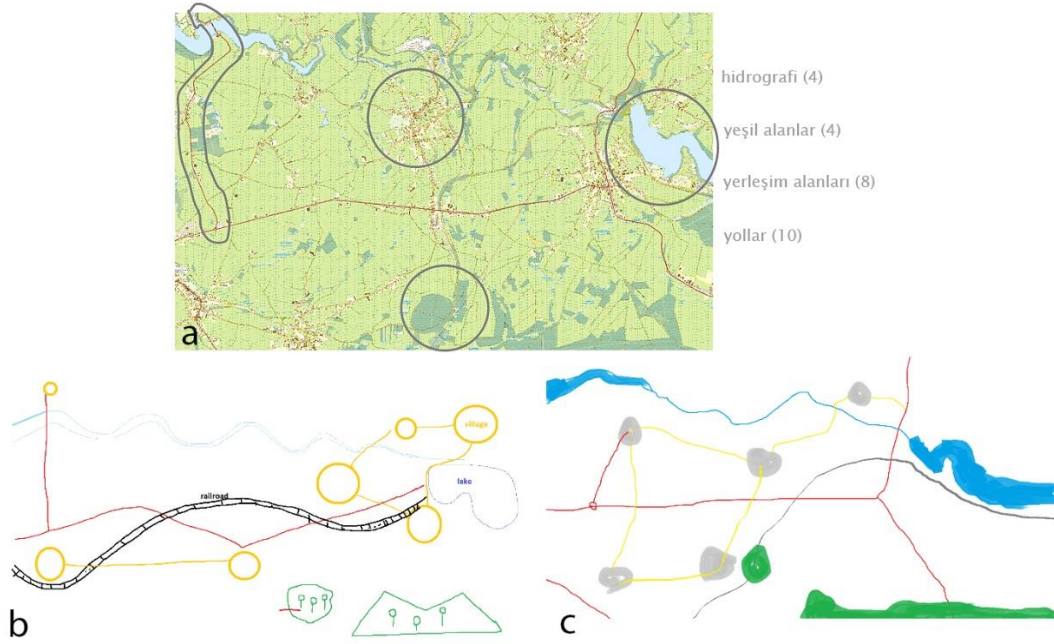
Dijital taslak haritalar, katılımcıların çizimde kullandıkları görsel değişkenler bakımından değerlendirilirken bu kapsamda iki farklı puanlama sistemi uygulanmıştır. Çizilen objenin konumu ve bu konumun doğruluğunu analiz etmek için Ooms vd. (2015); renk, boyut ve biçim için ise Billingham ve Weghorst'un (1995) geliştirdikleri puanlama sistemleri esas alınarak dijital taslak haritalarda ifade edilen her harita kategorisi için bir puan hesaplanmıştır. Son olarak bu iki sistemle elde edilen puanlar eşit bir şekilde ağırlıklandırılarak uzman ve uzman olmayan kullanıcı gruplarının ortalama mekânsal bellek görevi performansları hesaplanmıştır (Keskin vd., 2018).

Literatürde bilişsel yük çalışmalarında yaygın olarak kullanılan göz izleme metrikleri göz bebeği büyüklüğü (ing. pupil size) ve sabitlemeye (ing. fixation) ilişkin ölçütlerdir. Gerçekleştirilen deneyin koşulları gereği katılımcıların gözlerini ekran üzerinde serbestçe hareket ettirmesi sebebiyle göz bebeği büyüklüğü bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Sabitleme süresi (ing. fixation duration), dikkatin gözün sabitlendiği noktaya yöneltildiğini gösterir (Henderson ve Ferreira, 2013). Sabitleme süresi işlem yükü altında, yani görsel işlem daha fazla mental çaba gerektirdiğinde artmaktadır (Duchowski, 2007; Holmqvist, vd., 2011; Meghanathan vd., 2015). Örneğin, karmaşık ve efektif olmayan bir harita, aşırı derece ilgi çekici görsel bir unsur olmadığı varsayıldığında, katılımcılarda daha uzun sabitleme sürelerine neden olacaktır. Sabitleme sıklığı ya da birim zamandaki sabitleme sayısı, gerçekleştirilen görevin işlem hızı hakkında bilgi vermektedir ve harita kullanıcısı ne denli bilgi ve beceri sahibiyse, haritadan bilgi çıkarımı o denli yüksek olacak, bir başka deyişle, birim zamana düşen bilgi edinimi o oranda artacaktır (Liu, 2019). Bu çalışmada bilişsel yük değerlendirmesi için saniyedeki ortalama sabitleme sayısı ve ortalama sabitleme süresi metrikleri kullanılmıştır (Togami, 1984; Gedminas, 2011; Ooms, 2012).

Alfa aktivitesi bilişsel yükün tespitinde yaygınca kullanılan bir metriktir. Alfa gücündeki azalma, dikkat gerektiren süreçlerin ya da görece yüksek nöronal uyarılmanın işaretidir; görsel verinin işlenmesi ya da zihinsel aktivasyon ve mental efor vb. içsel aktivitelere cevap verme gibi süreçler buna örnek gösterilebilir (Guay vd., 2018). Bu çalışmada katılımcıların dikkate bağlı davranışlarına ilişkin genel bir fikir edinmek amacıyla, 16 EEG elektrodundan yararlanarak, ortalama alfa gücü hesaplanmıştır.

Öte yandan kullanıcıların dikkat ve odaklanma performansını, motivasyon, duygu ve bilişsel kontrol süreçlerini incelemek için EEG frontal alfa asimetrisi (FAA), yaygın olarak kullanılan bir metriktir (Coan ve Allen, 2003; Harmon-Jones, 2003). Beyindeki rölatif sol ön aktivitenin artması, artan bellek ve dikkat performansı ile eldeki göreve daha odaklı bir yaklaşım ile ilişkilidir. FAA, EEG kaydı sırasında beyin sol ve sağ frontal bölgeleri arasında oluşan alfa gücündeki ortalama yarım küresel farktır (Keskin vd., 2019). Bu çalışmada FAA sol (F3) ve sağ (F4) ön kanallar kullanılarak aşağıdaki Formül 1 yardımıyla hesaplanmıştır (Davidson, 1984).

$$FAA = \log(\alpha F4) - \log(\alpha F3) \quad (1)$$



Şekil 1. a) Deneyde katılımcılara gösterilen harita uyararı ve içerdiği temel yapı elemanları sayısı. b) Uzman bir katılımcının çizdiği taslak harita örneği. c) Uzman olmayan bir katılımcının çizdiği taslak harita örneği

Negatif alfa asimetri skorları daha büyük rölatif sağ frontal aktivasyona karşılık gelirken, pozitif olanlar daha büyük rölatif sol frontal aktiviteye işaret etmektedir. Sol frontal yarım kürede aktivitenin artışı, ilgi ve motivasyonu işaret ederken, sağ taraftaki artış motivasyon ve isteksizlik ve kaçınma anlamına gelir (Lanini-Maggi, 2017; Keskin vd., 2019).

2.2 Deneysel II

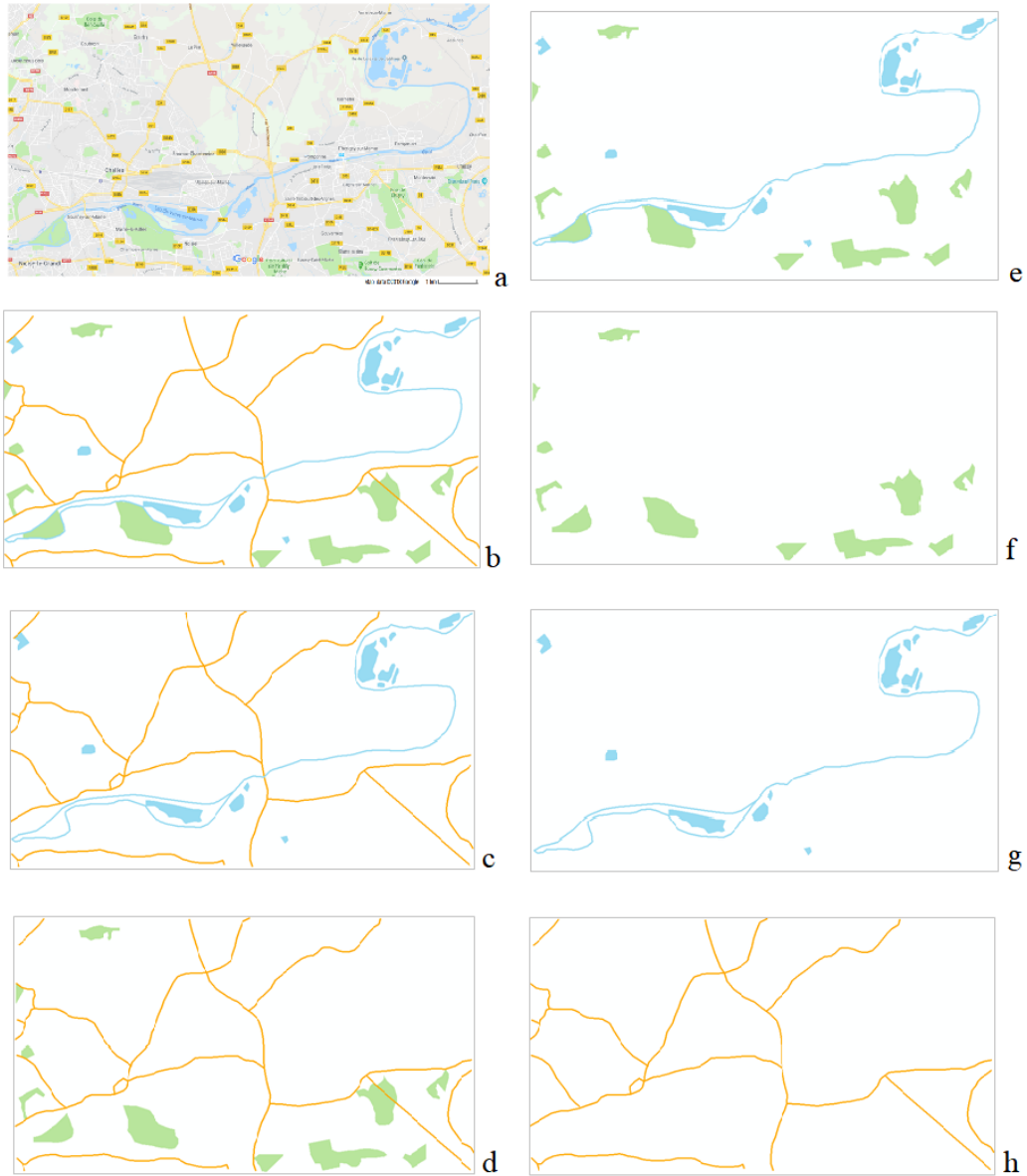
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ikinci deneyde araştırma soruları “bir harita uyararının temel yapı elemanlarını kısıtlı sürede ve sonradan hatırlamak üzere ezberlerken bilişsel yük, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcıları arasında nasıl değişir?” ve “mekânsal bellek görevinin zorluk derecesi bilişsel yükü nasıl etkiler?” olarak belirlenmiştir. Bu deneyde görevin zorluk derecesinin kullanıcı davranışı üzerindeki etkisinin tespiti amaçlanmıştır. Deneye yaşları 25-35 arasında değişen 9 kadın ve 8 erkekten oluşan 17 uzman ile 9 kadın ve 12 erkekten oluşan 21 uzman olmayan (toplam 39 katılımcı) kişi katılmıştır.

Bu deneyde çok sayıda harita ve çoklu denemeleri (ing. multiple trials) içeren rastgele bloklar düzeni (ing. randomized block design) kullanılarak farklı zorluk seviyeleri eklenmiş ve zaman kısıtlamaları getirilmiştir. Serbest elle çizim yerine (söz konusu olan haritalardaki temel yapı elemanlarının dijitalleştirilmesiyle üretilen iskelet haritalardan oluşan), katılımcıya çoktan seçmeli grafik seçenekler sunulmuştur. Deney kapsamında “yalnızca çizgisel harita elemanlarının hatırlanmasını içeren görevler, diğer elemanlarına ilişkin görevlere kıyasla, her iki grup için de daha az bilişsel yüke neden olur” ve “uzmanlar, yüksek bilişsel yük gerektiren görevlerde uzman olmayanlardan daha iyi performans sergiler” hipotezleri dikkate alınmıştır.

Mekânsal bellek görevi sırasında bilişsel yükün tespiti; doğru cevapların yanıt süresi, sabitleme tabanlı göz izleme metrikleri ile alfa ve teta frekanslarındaki olaya bağlı EEG güç spektral yoğunluk (PSD) değişimlerinden yararlanılarak yapılmıştır.

Tipik bir EEG deneyinin, fazla sayıda katılımcı ve yüksek sayıda deneme içermesinin sebebi, EEG'nin beyin ile ilgili faaliyetlerin yanı sıra, farklı dış kaynakların meydana getirdiği gürültülere de duyarlı olmasıdır. Ham EEG verisi, beyin aktivitesinin yanı sıra, kas hareketleri, göz kırpmaya ya da göz izleme cihazı dâhil odadaki diğer elektrikli cihazlardan kaynaklanan gürültüyü de içerir. Bu nedenle ham verideki gürültüyü filtrelemek için çeşitli ön işleme adımları uygulanır, bunlardan en temel olanı veriye sistematik bir şekilde etki eden, (Avrupa'da) 50 Hz ya da (Amerika'da) 60 Hz'de gözlemlenen ve ortamdaki elektrikli cihazlardan kaynaklanan gürültünün filtrelenmesidir. Bu çalışmada deneylerden elde edilen ham EEG verisindeki çizgisel gürültüyü gidermek amacıyla 50 Hz'lik notch filtresi ile EEG sinyal aralığı dışında kalan gürültüyü elimine etmek için 100 Hz'lik alçak geçiren ve 0.01 Hz'lik yüksek geçiren filtre uygulanmıştır.

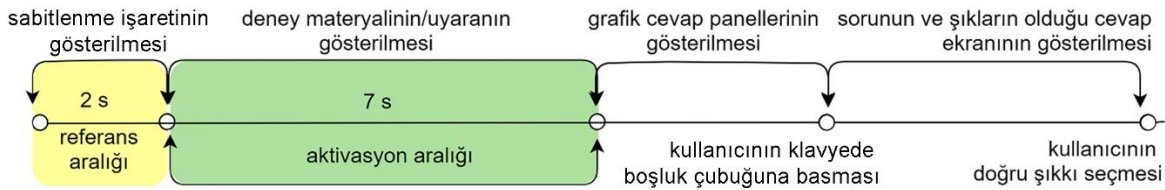
Deneme sayısının fazla olmasının bir diğer sebebi de gürültüsüz deneme sayısının artırmaktır. Bu kapsamda deney, her biri 50 deneme içeren yedi bloktan oluşmaktadır. Her blok, hatırlanması istenen çizgisel ve alansal bir (grup) temel yapı elemanı sınıfına ait belirli bir karmaşıklık seviyesini temsil etmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi Blok 1’de tüm harita elemanları konu edilirken Blok 2’den Blok 7’ye her bir aşamada sırasıyla yollar ve hidrografi (c), yollar ve yeşil alanlar (d), yeşil alanlar ve hidrografi (e), sadece yeşil alanlar (f), sadece hidrografi (g) ve sadece yollar (h) konu edilmiştir. Böyle bir deney tasarımı ile her bir bloğun bilişsel yük talebinin farklı olacağı öngörülmüş fakat hangi bloğun hangi zorluk derecesiyle eşleşeceğini tespit etmek için pilot testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler süresince verilen doğru cevaplar için harcanan tepki süreleri hesaplanarak blok zorluk dereceleri belirlenmiştir. Bu kapsamda veride gözlenen doğal kırılmalar dikkate alınarak Blok 1 ve 2 ‘zor’; Blok 3 ve 4 ‘orta’; Blok 5, 6 ve 7 ise ‘kolay’ görevler olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan örnek bir harita ve deney blokları a) Orijinal harita uyarısı, b) Blok 1: Bütün harita, c) Blok 2: Yollar ve hidrografi, d) Blok 3: Yollar ve yeşil alanlar, e) Blok 4: Yeşil alanlar ve hidrografi, f) Blok 5: Yeşil alanlar, g) Blok 6: Hidrografi, h) Blok 7: Yollar (Keskin vd., 2019’dan uyarlanmıştır).

Katılımcıların kendilerinden istenen görevi anladıklarından emin olmak için her blok bir egzersiz denemesiyle başlatılarak katılımcıların o blokta kendilerine yöneltilen görev için hazırlıklı olmaları sağlanmıştır. Deneydeki her deneme üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada katılımcılara aynı ölçekli Google yol haritalarından türetilmiş ekran görüntüleri (hedef uyarı) yedi saniye boyunca gösterilmekte ve onlardan bu görüntünün içeriğini ezberlemeleri istenmiştir.

İkinci aşamada ise katılımcılardan grafik yanıt paneli aracılığı ile sunulan dört adet iskelet haritadan bir önceki aşamada ezberledikleri görüntüye en yakın içerikte olanı belirlemeleri istenmiştir. Seçeneklerden yalnızca biri, haritadaki temel yapı elemanlarının doğru gösterimine karşılık gelmektedir. Üçüncü aşamada ise katılımcıların belirledikleri cevabı ekranda beliren 4 seçenektan (a, b, c, d) birini seçerek işaretlemeleri istenmiştir. Doğru seçenek işaretlendikten sonra katılımcılar otomatik olarak bir sonraki denemeye yönlendirilmektedir ve toplamda 50 deneme sonunda o deney bloğu sona ermektedir. Katılımcılara her bir denemenin öncesinde, mekânsal bellek görev harici süre içerisindeki beyinsel aktiviteyi tanımlamak amacıyla, iki saniyelik referans uyararı (örn. sabitleme işareti - ing. fixation cross) gösterilmiştir. Şekil 3'te zamansal dizilimi sunulan deney sürecinde hedef uyarının gösterildiği yedi saniyelik aralık aktivasyon periyodu olarak tanımlanırken, iki saniyelik ilk periyot referans aralığı olarak isimlendirilmektedir. Deneyin referans ve aktivasyon periyotlarını içerecek şekilde tasarlanmasının sebebi, EEG kaydı boyunca olaya bağlı değişen beyinsel aktiviteyi gözleyebilmektir. Araştırma sorusu ve ona bağlı yapılan deney tasarımı farklılıkları nedeniyle, bu deneyde kullanılan EEG metrikleri ilk deneydekenden farklıdır. Bu metrikler alfa desenkronizasyonu ve teta senkronizasyonu olup, bilişsel yük ve görev zorluğu konulu birçok çalışmada kullanılmıştır (Gevens ve Smith, 2003; Sauseng vd., 2005; Anderson vd., 2011).



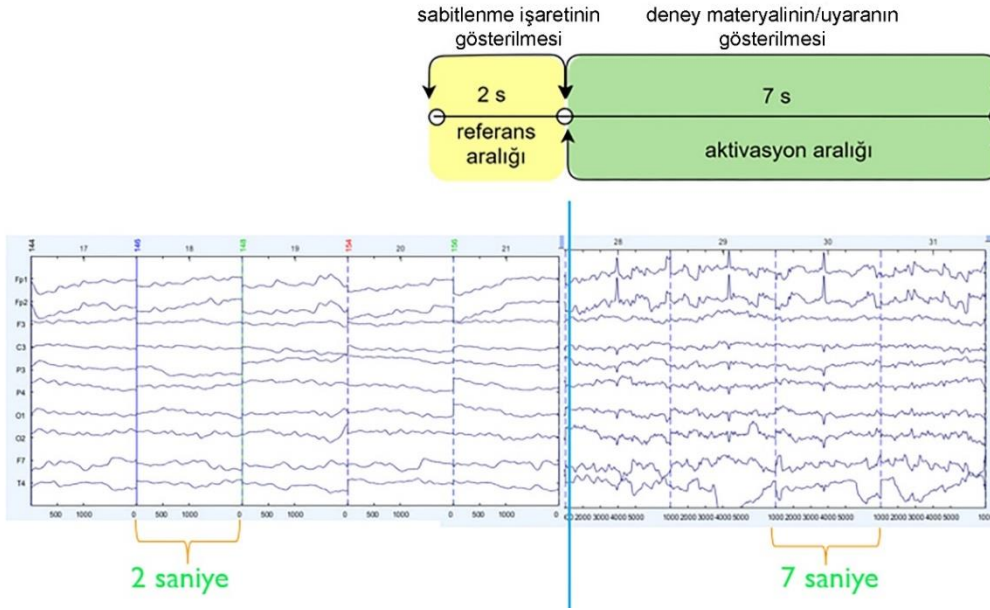
Şekil 3. Deney süreçlerinin zamansal dizilimi

Pek çok çalışmada alfa ve teta frekans bantlarındaki güç spektral yoğunluk değişimlerinin görev zorluğu ile ilişkisi kanıtlanmış ve bu nedenle alfa gücü, kısa süreli belleği ilgilendiren görevler sırasındaki bilişsel yükün tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılmıştır (Gevens ve Smith, 2000; Witvoet, 2013). Bu çalışmalarda alfa aktivitesinin (özellikle beyin parietal ve oksipital bölümlerinde) artan görev talepleri ya da zorluğu ile azaldığını; bunun da doğal olarak kısa süreli bellek performansının azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Tam tersi şekilde teta aktivitesinin (özellikle ön orta hat alanlarındaki) bilişsel süreçlerle doğru orantılı olduğu, yani yeni bilgileri kodlarken arttığı gözlemlenmiştir (Klimesch, 1999; Pfuertscheller ve Da Silva, 1999; Witvoet, 2013; Kumar ve Kumar, 2016).

Beyinde bilişsel bir işlem gerçekleştiğinde, tetada artış (olaya ilişkin senkronizasyon – event-related synchronization) ve alfada ise bir azalma (olaya ilişkin desenkronizasyon - event-related desynchronization) gözlenmektedir (Pfuertscheller ve Da Silva, 1999). EEG'deki olaya bağımlı bu değişiklikler, bilişsel görev sırasında (mekânsal bellek görevi gibi) belirli bir frekans bandındaki güç ile aynı frekans bandının referans aralıkları süresindeki gücünün karşılaştırılmasıyla nitelendirilebilir (Pfuertscheller ve Da Silva, 1999). Bu deneydeki olaylar, harita uyarısının katılımcıya gösterildiği zaman noktaları olarak tanımlanmıştır. Olaylar, EEG kaydı üzerinde işaretlendikten sonra, referans ve aktivasyon aralıklarına göre bölütlenmiştir (Şekil 4). Bölütleme (segmentasyon) işleminden sonra, alfa ve teta bantlarındaki olaya bağlı güç spektral değişimler, Formül 2 kullanılarak hesaplanmıştır (Benedek vd., 2014).

$$TRP(i)=\log(Pow_i, \text{aktivasyon}) - \log(Pow_i, \text{referans}) \quad (2)$$

Formülde olaya bağlı EEG güç değişimini ifade eden TRP (task-related power change), aktivasyon (Pow_i , aktivasyon) ve referans (Pow_i , referans) aralıkları için hesaplanan güç değerlerinin logaritmik olarak farklarının alınmasıyla elde edilmektedir. Bilişsel yükün tespiti için, bu EEG metrikleriyle birlikte, ilk deneyde olduğu gibi, göz izleme metriklerinden saniyedeki ortalama sabitleme sayısı ve ortalama sabitleme süresi kullanılmıştır. Ayrıca, gözün iki sabitleme arasındaki hızlı geçişlerini (sıçrama – ing. saccade) dikkate alan sıçrama hızı (ing. saccade velocity) ve sıçrama büyüklüğü (saccade amplitude) gibi göz izleme metriklerinden de yararlanılmıştır. Yüksek sıçrama hızı, stresin ve görev karmaşıklığı/zorluğunun artması ve konsantrasyonun düşmesi ile ilişkilendirilirken, kısa sıçramalar yüksek bilişsel yükü işaret etmektedir. Son olarak katılımcıların reaksiyon süreleri ve doğru cevap sayıları hesaplanmıştır. Özetle, göz izleme metrikleri ve EEG alfa ve teta güç spektral değişimleri arasındaki ilişki kurularak, uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarında, farklı zorluk seviyelerindeki mekânsal bellek görevleri sırasında açığa çıkan bilişsel yükün, bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, her bir zorluk seviyesinin talep ettiği bilişsel yükün, mekânsal bilgiyi hatırlama performansına etkisi gözlemlenebilmiştir (Keskin vd., 2020).



Şekil 4. EEG verisi bölütlemesi

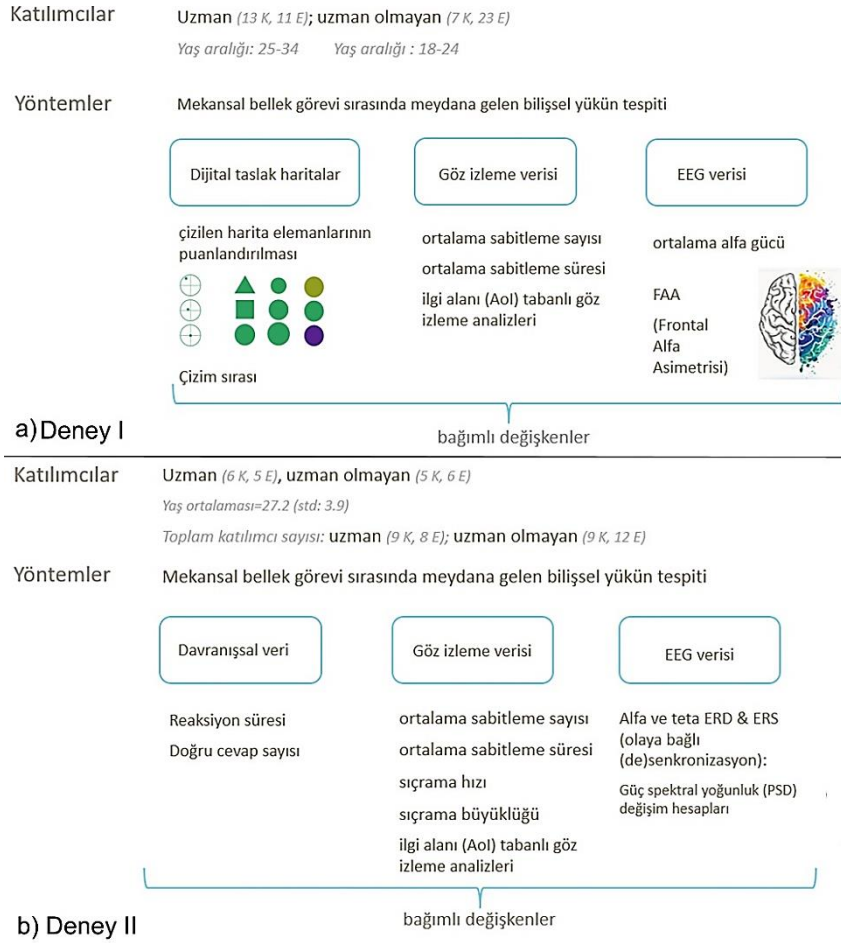
3. Sonuç ve Değerlendirme

Harita kullanıcılarının bireysel farklılıklarının ve benzerliklerinin tespiti, onların bilişsel süreçlerinin iç yüzünü anlamaya ilişkin bütüncül bir çıkarım yapma imkânı sunmaktadır. Analize konu verilerin birden fazla yöntemle elde edilmesi sonuçların güvenilirliğini test etmek açısından katkı sunmaktadır. Bu çalışmada ilk deney kapsamında gerçekleştirilen dijital taslak haritaların değerlendirilmesi, deneme süreleri ve FAA analiz sonuçları ile her iki deney için ayrı ayrı hesaplanan sabitleme ve Aol tabanlı göz izleme metrikleri, uzman ve uzman olmayan kullanıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir (Keskin vd., 2018). Aksine, ilk deneyde EEG alfa gücünün uzman olmayanlarda, uzmanlara oranla daha az olduğu gözlenmiş ve bu sonuç uzman olmayan katılımcılarda daha fazla bilişsel yük açığa çıktığını göstermiştir. İkinci deney kapsamında ilk deneyden farklı olarak alfa ve teta frekanslarında olaya bağlı EEG güç spektral yoğunluk değişimleri ele alınmış ve henüz az sayıda veri kullanılarak gerçekleştirilen ilk analiz sonuçları, katılımcı grupları arasında ayırım yapılmaksızın, genellikle teta değerlerinde artış ve alfa değerlerinde düşüş olduğunu göstermiştir (Keskin vd., 2019). Sonraki aşamada, tüm EEG analizlerinin tamamlanmış ve elde edilen sonuçlar göz izleme metrikleri ile birleştirilerek bilişsel yük saptanmış, uzman ve uzman olmayan kullanıcılar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Keskin vd., 2020). Deneyler sayesinde, mekânsal bellek görevinin zorluk derecesinin iki grup için de harita kullanımına etkisinin tespit edilmesi ve bu grupların geliştirdikleri farklı stratejileri çözümlemenin yanı sıra, haritanın çizgisel ya da poligon temel yapı elemanlarının görselleştirilmesinde kullanılan görsel değişkenlerin de hatırlamaya etkisini inceleme imkânı bulunmuştur.

Veri triyângülasyonundan yararlanıldığı durumlarda deney tasarımı da kullanılan yöntemlere göre şekillenmektedir. Çalışma kapsamında tasarlanan birinci ve ikinci deneyde kullanılan yöntemler Şekil 5'te, veri triyângülasyonuna konu olan temel yöntemler hakkında bilgi vermek üzere, özetlenmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı kullanıcı deneyi tasarımının önemine vurgu yapmak ve EEG'nin kartografik kullanılabilirlik araştırmasına nasıl entegre edilebileceği, göz izleme ya da dijital taslak harita yöntemleriyle nasıl bir arada kullanılabilirliği, özellikle birden fazla yöntem birleştirildiğinde deney tasarımında nelere dikkat edilmesi gerektiği vb. gibi konulara değinmektedir. Bunun için öncelikle mekânsal bellek ve harita kullanımı kavramlarının üzerinde durularak, harita kullanıcılarının hareketlerinin ölçülmesinde kullanılan yöntemler ile kullanıcının harita algısı ve bilişsel süreçleri hakkında temel bilgiler sunulmuştur. Sonrasında çalışmada bahsedilen mekânsal bellek görevi özelinde ve çerçevesinde, EEG ve göz izlemenin birlikte kaydı sırasında hangi niceliklerin bilişsel yükü ortaya çıkaracağından bahsederek metodolojik bir genel bakış sunulmuştur. Bu kapsamda saniyedeki ortalama sabitleme sayısı, ortalama sabitleme süresi, sıçrama büyüklüğü ve sıçrama hızı gibi göz izleme verileriyle EEG alfa ve teta güç spektral değişimleri ilişkilendirilerek uzman ve uzman olmayan harita kullanıcılarında farklı zorluk seviyelerindeki mekânsal bellek görevleri sırasında açığa çıkan bilişsel yükün belirlenebileceği vurgulanmıştır. Herhangi bir yöntemin sonucunda teorik beklentilerin sağlanamaması durumunda diğer yöntem ile elde edilen sonuçların kontrolüyle çalışma çıktılarının güvenilirliği güvence altına alınabilmektedir. Söz konusu senkronize verilerin uzman ve uzman olmayan kullanıcılar üzerinde kaydedilmesi kullanıcı grupları arasındaki farkların anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Örneğin, ortalama sabitleme süresi ve sıçrama hızı artıyor, bunlara paralel olarak saniyedeki ortalama sabitleme sayısı ve sıçrama büyüklüğü azalıyor ve eş zamanlı olarak EEG teta aktivitesinde artış ve alfa ise azalış gözlemleniyorsa, bilişsel yükün arttığını söylemek mümkündür (Keskin et al., 2020).



Şekil 5. Deney I ve Deney II’de kullanılan yöntemler

EEG ve göz izleme cihazları ile eş zamanlı ve senkronize veri toplanması, sonrasında bu verilerin birleştirilmesi için gürültüsüz veri sayısının artırılması için deneyin; çok sayıda deneme ve katılımcı ile gerçekleştirilmesi ya da ham EEG verisindeki gürültünün çeşitli yöntemlerle filtrelenmesi gibi, birtakım metodolojik ve teknik problemin çözülmesi gerekmektedir (bkz. Bölüm 2). Bahsi geçen bu problemler, detaylı olarak Keskin (2020) tarafından ele alınmış, ancak bu çalışma kapsamında paylaşılan deneyimlerin özellikle benzer teknolojiler ile çalışacak olan araştırmacılara, deneysel süreçlerin tasarım ve uygulama aşamalarında katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu araştırmanın bir bölümü TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından desteklenmiştir [hibe numarası: 2214a-1059B141600039]. Deneylerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli imkânları sunan ve deneyimlerini paylaşarak sürece önemli katkılar sağlayan Gent Üniversitesi pazarlama bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Hendrik Slabbinck’e ve ikinci deneyin tasarım süreçlerine göz izleme ve EEG konusundaki bilgi ve uzmanlığı ile destek olan Leuven Üniversitesi (KU Leuven) deneysel psikoloji araştırmacılarından Dr. Andrey Nikolaev’e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Anderson, E. W., Potter, K. C., Matzen, L. E., Shepherd, J. F., Preston, G. A., & Silva, C. T. (2011, June). A user study of visualization effectiveness using EEG and cognitive load. In Computer graphics forum (Vol. 30, No. 3, pp. 791-800). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.

- Bell, S., & Archibald, J. (2011). Sketch mapping and geographic knowledge: what role for drawing ability? In Workshop of an Interdisciplinary Approach to Understanding and Processing Sketch Maps in Conjunction with COSIT 2011, Belfast, ME, vol. 42, pp. 1–10.
- Benedek, M., Schickel, R. J., Jauk, E., Fink, A., Neubauer, A. C. (2014). Alpha power increases in right parietal cortex reflects focused internal attention. *Neuropsychologia*, 56, 393–400, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.02.010.
- Bertin, J. (1967). *Semiology of graphics*, (W. J. Berg Trans.). Madison, WI, USA: University of Wisconsin Press.
- Bertrand, C., & Thullier, F. (2009). Effects of player position task complexity in visual exploration behavior in soccer. *International Journal of Sport Psychology*, 40(2), 306-323.
- Billingham, M., & Weghorst, S. (1995, March). The use of sketch maps to measure cognitive maps of virtual environments. In Proceedings of Virtual Reality Annual International Symposium, 40-47. 4912223, doi:10.1109/VRAIS.1995.512472.
- Coan, J. A., Allen, J. J. (2003). State and trait of frontal EEG asymmetry in emotion. In *The Asymmetrical Brain*, Hugdahl, K., Davidson R. J., Eds., MIT Press: Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 566-615.
- 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. doi:10.1080/13658816.2010.511718.
- Davidson, R. J. (1984). Affect, cognition, and hemispheric specialization. In Izard, C.E., Kagan, J. & Zajonc, R.B., (Eds.), *Emotion, Cognition, and Behavior*, Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp. 320–365.
- Dickmann, F., Edler, D., Bestgen, A. K., & Kuchinke, L. (2017). Exploiting illusory grid lines for object-location memory performance in urban topographic maps. *The Cartographic Journal*, 54(3), 242-253. doi:10.1080/00087041.2016.1236509.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology - Theory and practice*. London: Springer.
- 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. doi:10.1080/00045600903362378.
- Forbus, K. D., Usher, J., & Chapman, V. (2004). Qualitative spatial reasoning about sketch maps. *AI magazine*, 25(3), 61. <https://doi.org/10.1609/aimag.v25i3.1777>.
- Gardony, A. L., Taylor, H. A., & Brunyé, T. T. (2016). Gardony map drawing analyzer: software for quantitative analysis of sketch maps. *Behavior research methods*, 48(1), 151-177.
- Gedminas L., (2011). *Evaluating Hurricane Advisories Using Eye Tracking and Biometric Data* (Master's Thesis). East Carolina University: North Carolina, USA, 2011.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10(9), 829-839, doi:10.1093/cercor/10.9.829.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2003). Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1-2), 113–131.
- Guay, S., De Beaumont, L., Drisdelle, B. L., Lina, J. M., & Jolicoeur, P. (2018). Electrophysiological impact of multiple concussions in asymptomatic athletes: a re-analysis based on alpha activity during a visual-spatial attention task. *Neuropsychologia*, 108, 42-49.
- Harmon-Jones, E. (2003). Clarifying the Emotive Functions of Asymmetrical Frontal Cortical Activity. *Psychophysiology*, 40(6), 838-848, doi:10.1111/1469-8986.00121.
- Henderson, J., & Ferreira, F. (2013). *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world*. Psychology Press.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Huynh, N. T., & Doherty, S. T. (2007). Digital sketch map drawing as an instrument to collect data about spatial cognition, *Cartographica*, 42(4), 285–296.
- Jacob, R. J., & Karn, K. S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In J. Hyöna, R. Radach, H. Deubel (Eds.) *The mind's eye cognitive and applied aspects of eye movement research*, 573-605. doi:10.1016/B978-044451020-4/50031-1
- Keskin, M., Dogru, A. O., Guney, C., & Başaraner, M. (2016). Kartografik gösterimlerin kullanılabilirliğinin ölçülmesinde nörobilişsel yöntemler (Neurocognitive methods for cartographic usability research), *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 177-189, doi:10.15659/hartek.16.08.331.
- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2018). Digital sketch maps and eye tracking statistics as instruments to obtain insights into spatial cognition. *Journal of Eye Movement Research*, 11(3), 1-20. <https://doi.org/10.16910/jemr.11.3.4>
- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2019). EEG & eye tracking user experiments for spatial memory task on maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(12), 546.

- Keskin, M. (2020). *Exploring the Cognitive Processes of Map Users Employing Eye Tracking and EEG (Doctoral dissertation)*, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Keskin, M., Ooms, K., Dogru, A. O., & De Maeyer, P. (2020). Exploring the cognitive load of expert and novice map users using EEG & eye tracking. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(7), 429.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169-195.
- Kulhavy, R. W., & Stock, W. A. (1996). How cognitive maps are learned and remembered? *Annals of the Association of American Geographers*, 86(1), 123-145. doi:10.1111/j.1467-8306.1996.tb01748.x.
- Kumar, N., & Kumar, J. (2016). Measurement of cognitive load in HCI systems using EEG power spectrum: An experimental study. *Procedia Computer Sci.* 84, 70-78.
- Lanini-Maggi, S. (2017). *Depicting movement data with animations for embodied and real-time decision-making: a user study with air traffic control displays and real-time movement data (Doctoral dissertation)*, University of Zurich, Zurich, Switzerland.
- Lee, H., Lee, J., & Seo, S. (2009, July). Brain response to good and bad design. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 111-120). Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-02574-7_13.
- Liu, Y. (2019). Visual search characteristics of precise map reading by orienteers. *PeerJ*, 7, e7592.
- Maxwell, J. A. (1996). Applied social research methods series, Vol. 41. Qualitative research design: An interactive approach. Sage Publications, Inc.
- Meghanathan, R. N., van Leeuwen, C., & Nikolaev, A. R. (2015). Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1063.
- 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.
- Ooms, K. (2012). Maps, how do users see them?: An in depth investigation of the map users' cognitive processes (Doctoral dissertation). Ghent University, Geography Department. Retrieved from <https://biblio.ugent.be/publication/3103344>.
- Ooms, K., De Maeyer, P., & Fack, V. (2015). Listen to the map user: cognition, memory, and expertise. *The Cartographic Journal*, 52(1), 3-19, doi:10.1179/1743277413Y.0000000068.
- Pfurtscheller, G., & Da Silva, F. L. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110(11), 1842-1857.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), 97-103, doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.03.018.
- Togami, H. (1984). Affects on visual search performance of individual differences in fixation time and number of fixations. *Ergonomics*, 27(7), 789-799. doi:10.1080/00140138408963552
- Wedel, M., & Pieters, R. (2008). Eye tracking for visual marketing. *Foundations and Trends® in Marketing*, 1(4), 231-320. doi:10.1561/1700000011
- 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.
- Witvoet, J. (2013). Does Cognitive Load Influence Performance in a Game-Based Learning Task? <https://essay.utwente.nl/64203>.
- Roth, R.E. (2013). Mixed Methods for Cartographic & Geographic Research. http://www.slideshare.net/roth/mixed-methods-for-cartographic-geographic-research?qid=ffb84221-b757-445a-a262-6271d5f0d66a&v=&b=&from_search=24. Son erişim tarihi: 21.12.2020