

Simon Görevi Sırasında Tepki Dinamiklerinin Fare Takibi Yöntemiyle İncelenmesi

Investigation of Response Dynamics in the Simon Task with Mouse Tracking Methodology

Hatice Buket İKİZOĞLU¹, Murat Perit ÇAKIR¹

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, Bilişsel Bilimler Bölümü, Ankara

ÖZ

Amaç: Nöropsikolojide bilişsel süreçleri incelemek için kullanılan çıkarma ve eklemeli etken yöntemlerine dayalı reaksiyon süresi analizleri bilişin dinamik doğasını yeterince dikkate almadığı için eleştirilmektedir. Bu eksikliğe hitaben geliştirilen fare izleme yöntemi, katılımcıların fare hareketlerini kaydederek motor tepki dinamiklerinin incelenmesine olanak vermektedir. Bu çalışmada Simon görevi bağlamında uyaran-tepki uyumluluk etkisi üzerine bir fare izleme çalışması geliştirilerek karar süreci dinamiklerine yönelik ne tür bilgiler elde edilebileceği incelenmiştir.

Yöntem: Çalışma kapsamında klasik Simon görevi fare izleme deney ortamına uyarlanmıştır. İlk iki deneyde karar seçeneklerinin üst veya alt köşelere yerleştirildiği durumların fare hareketleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, katılımcıların deneyin ilk yarısında belirli bir yön-rek ilişkisine adapte olduğu ve deneyin ikinci yarısında bu ilişkinin tersine çevrildiği bir tersine Simon deneyi gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Deneyler sırasında literatüre uyumlu olarak anlamlı düzeyde uyaran-tepki uyumluluk etkisi gözlenmiştir. Uyaran-tepki uyumu olan

ve olmayan durumların fare ölçütleri arasındaki farklılaşmaya ait etki boyutlarının tepki süresine kıyasla daha büyük olduğu gözlenmiştir. Uyumsuz durumlarda sol ve sağ köşelere verilen ortalama fare yanıtlarının asimetrik olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, karar seçeneklerinin yerinin yukarıdan aşağı alınmasının uyumsuz koşulda sol ve sağ tarafa verilen fare yanıtları arasındaki asimetrimin artmasına neden olduğu gözlenmiştir. Son olarak, yeni renk-tepki eşleşmesine uyum sağlanmasını gerektiren tersine Simon görevi sırasında adaptasyon sürecinde en belirgin etkinin y-eksenindeki dönüş sayısında gerçekleştiği gözlenmiştir.

Sonuç: Fare izleme yöntemiyle karar verme süreçlerinin dinamik yapısının tepki zamanı ölçümlerine kıyasla daha hassas düzeyde incelenebildiği, ancak seçeneklerin ve başlangıç noktasının ekranda konumlandırılma biçimlerinin tepki dinamikleri üzerinde bazı etkileri olabileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uyaran-tepki uyumluluğu, simon etkisi, fare takibi, tepki dinamikleri

ABSTRACT

Introduction: Despite their popularity in Neuropsychology, reaction time analysis based on the subtraction and additive factors methods is critiqued for not paying adequate attention to the dynamical nature of cognition. Mouse-tracking methods aim to cater to this need by allowing researchers to explore response dynamics during cognitive tasks by recording mouse trajectories.

Methods: A mouse-tracking adaptation of the Simon task is developed to explore decision-making dynamics in different stimulus-response compatibility conditions. The study focuses on the effects of stimulus design decisions on mouse trajectories, including relocation of the choice buttons from the top corners to the bottom and the mid-session reversal of stimulus-response mapping on mouse responses.

Results: Consistent with previous studies, significant stimulus-response compatibility effects were observed, where contrasts over

mouse-tracking measures had larger effect sizes than simple reaction time contrasts. Moreover, in the conflict trials, asymmetric response trajectories towards the left and right corners were observed. Moving the response buttons from top to bottom increased the degree of asymmetry between the mouse trajectories towards the bottom-left and bottom-right corners during the conflict condition. Finally, in the reverse Simon task, the switch to a new color-response mapping inflicted the largest effect on the average number of y-flips.

Conclusion: Mouse tracking provides measures suitable for exploring decision-making dynamics beyond classical reaction time analysis, provided asymmetries due to the starting position and response layout are considered during experiment design.

Keywords: Stimulus-response compatibility, Simon effect, mouse tracking, response dynamics

Cite this article as: İkizoğlu HB, Çakır MP. Simon Görevi Sırasında Tepki Dinamiklerinin Fare Takibi Yöntemiyle İncelenmesi. Arch Neuropsychiatry 2021;58:242-248.

GİRİŞ

Zihinsel işlemlerin doğasının araştırılması Nöropsikolojide öncelikli bir konu olmuştur. Reaksiyon süresi analizi bu amaç için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır (1). Donders çıkarma yöntemini (2) önerdiğinden bu yana çeşitli zihinsel süreçlerin zaman akışını araştırmak için birbiri

üzerine inşa edilen deneyler popüler bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yaklaşım genellikle katılımcıların belirli zihinsel evreler bakımından farklılık gösterdiği düşünülen koşullara maruz kaldıkları deney dizileri içermektedir. Örneğin, Donders (2), basit bir tepki görevi (örn., bir uyaran

görüldüğünde düğmeye basma), bir yap/yapma görevi (örn., hedef seçenekler arasında görünüyorsa düğmeye basma) ve bir seçim görevi (örn., seçenek 1/2 görülürse sol / sağa basın) aşamalarını içeren bir deney düzeneğinde ilk görev sırasında gözlenen reaksiyon süresinden ikinci görevin süresini çıkararak *uyarıcı ayırt etme* sürecine, ikinci görev sırasında gözlenen reaksiyon süresinden üçüncü görevin süresini çıkararak ise *teпки seçimi* sürecine ait sürelerinin kestirilebileceğini öne sürmüştür.

Bu yaklaşımın sağladığı metodolojik özene rağmen, katılımcıların bir deney sırasında uyarılara verdikleri yanıtların öğrenme etkisi ve *hız-doğruluk takasına* bağlı olarak değişkenlik göstermesi çıkarma analizi yöntemi için bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir (3). Bu tür değişkenlikler hedeflenen bilişsel sürecin farklı görev kısımlarının doğrudan karşılaştırma yöntemiyle incelenmesini zorlaştırmaktadır. Bu tür sorunları gidermeyi amaçlayan *Ekleme Etkeni* yaklaşımı (4) farklı ama tamamlayıcı görevleri karşılaştırmak yerine aynı görevin farklı varyantlarını çıkarma analizi için kullanır. Ancak bu yaklaşım bazı önemli varsayımların kabulünü gerektirmektedir; (a) bir düğmeye basılması gibi yanıtların zaman maliyeti, işlenen bilginin görevler arasındaki karmaşıklığındaki farklılıklara bakılmaksızın aynı süreyi alır, (b) toplam yanıt süresi ilgili alt süreçlerin zaman maliyetlerinin toplamıdır ve (c) alt işlemlerin zaman maliyetleri daha büyük ancak ölçülebilir bir sürecin zaman maliyetine bölünerek tahmin edilebilir (4).

Sinyal Belirleme Kuramı'na (5) dayalı yaklaşımlar, bu eksikliklerin bir kısmını isabetli (uyaranın konumuna bakılmaksızın doğru eşleşen yanıt) ve yanlış alarm (ilgisiz uyarın konumunun yanlış yanıtı açması) yanıtlarının üzerinde yapılan olasılıksal analizler ile aşmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşımda, hız-doğruluk takası oluşturacak bir zaman aralığı seçilerek, görevle ilgili özneliliğin (örneğin renk, şekil) işleme ve doğru yanıt konumuyla eşleşebilen veya eşleşemeyen uyarının görevle ilgili uzamsal konumu arasındaki rekabet büyütülür. Bu yöntem yardımıyla, sinyal algılama eşiklerini karakterize edebilen ve sinyale tipik olarak Gauss gürültüsü ekleyerek verilen yanıtları yordayabilen bazı önemli parametreler hesaplanabilmektedir. Ancak, karar verme gibi karmaşık bir bilişsel süreç sırasında motor tepki ve uyumsuzluk çözümü aşamalarının eklemeli bir seyir izlememesi, bu aşamaların birbirinden ayırt edilmesinde bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir (6). Bu tür sorunlar, bilişsel süreçlerin dinamik açıklımının daha etkili bir şekilde incelenilebileceği metodolojik yaklaşımların geliştirilmesine yönelik bir ihtiyaç olduğuna işaret etmektedir (7, 8).

Fare takibi, nöropsikolojik çalışmalarda yanıt dinamiklerini izleme ihtiyacını karşılamak için son yıllarda pratik bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. MouseTracker (9) ve MouseTrap (10) gibi yazılım araçları, çeşitli bilişsel görevler sırasında fare hareketlerinin sürekli olarak izlenmesine imkân vermektedir. İki seçenekli bir karar görevi için standart bir fare takibi deney düzeni, ekranın ortasında görüntülenen bir uyarın ile sol ve sağ üst köşelere konumlandırılan iki seçenekten oluşur. Her denemede, katılımcıların fare imlecini sabit bir başlangıç konumundan kendi seçimlerine doğru hareket ettirmeleri ve seçimlerini olabildiğince çabuk kaydetmek için düğmeye tıklamaları beklenir. Fare izleyicileri, imlecini başlangıç noktasından kayıtlı yanıtı doğru izlediği yolu kaydederek, fiziksel yanıt düğmeleriyle reaksiyon süresi kayıt edilen alışılmış deney düzeneklerinde incelenmesi mümkün olmayan bazı ek tepki özelliklerinin araştırılmasına olanak tanımaktadır.

Özetle, *hareket halindeki el, hareket halindeki zihni ortaya koyar* ifadesi, fare izleme paradigmasının (9) altında yatan mantığı ve birincil motivasyonu özetlemektedir. Klasik reaksiyon süresi analizinde bir motor yanıt, bir karar sırasında duyuşsal ve bilişsel süreçlerden ayrılabilen ek bir faktör olarak kabul edilir. Bunun aksine dinamik yaklaşımlar, motor tepkisini algısal ve bilişsel süreçler aracılığıyla zaman içinde sürekli olarak ayarlanan bir hareket içi eylem olarak kabul eder. Bu nedenle, motor

tepkiler yeterli örnekleme sıklığı ile izlenebilirse, bir akış içerisinde gerçek zamanlı olarak çözümlenen muhakeme ve karar verme gibi süreçlerin altında yatan algısal-bilişsel dinamiklere ilişkin bazı önemli bilgiler elde edilebileceği öne sürülmektedir (6, 9).

Fare izleme yönteminin sağladığı çeşitli avantajlara rağmen son çalışmalar, uyarın ve yanıt düğmelerinin deney düzeneğindeki konumu, imlec hızı ayarı, örnekleme hızı ve imlecin başlangıç konumundan kaynaklanan etkiler dahil olmak üzere bazı metodolojik sorunların kapsamlı bir analizine olan ihtiyacı vurgulamaktadır (11, 12). Bu çalışmalar, fare izleme deneyleri için temel parametrelerin standartlaştırılmasına yardımcı olacak bazı prensiplerin belirlenmesi için çağrıda bulunmaktadır. Bu çalışma, üst veya alt köşeleri yanıt konumları olarak belirleme, el tercihi ve bir uyarıcı-teпки uyumluluk paradigması olan Simon Görevi bağlamında tepki haritalamasının tersine çevrilmesi gibi faktörleri analiz ederek bu çabalara katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. İlgili literatürden gözleyebildiğimiz kadarıyla bu çalışma, ters-Simon etkisi üzerinde yapılan ilk fare izleme çalışmasını içermektedir.

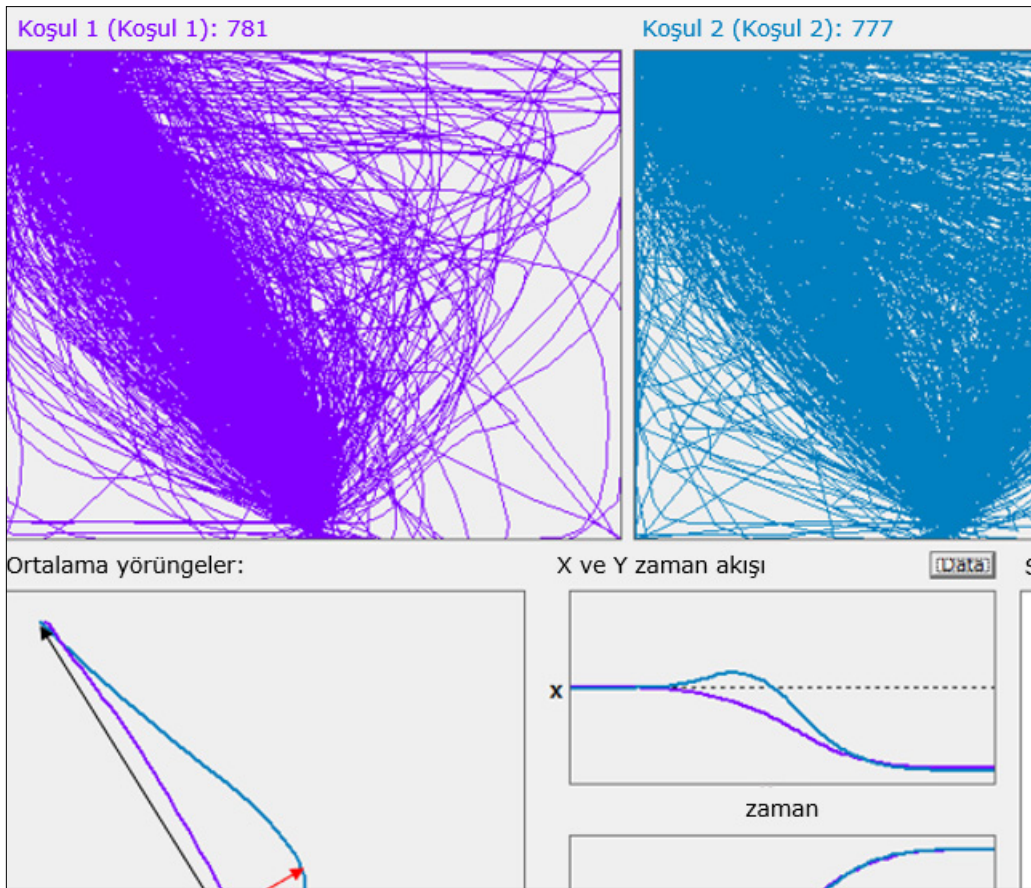
YÖNTEM

Bu çalışma, klasik reaksiyon süresi analizine kıyasla fare takibinden hangi ek bilgilerin elde edilebileceğini ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. Bu amaçla, fare tepki izlerinden türetilen zengin bir dizi ölçüm yardımıyla Simon etkisinin dinamik boyutlarının incelenmesi için üç deney yapılmıştır. Klasik Simon görevi uyarın-teпки uyumluluğu ile ilgilidir; burada sol veya sağ el ile bir düğmeye basarak yanıt vermek için bir uyarın sunulur (13). Buradaki etki, tepki veren el ile uzamsal olarak uyumsuz uyarınlar için gözlemlenen daha uzun tepki süresinden kaynaklanmaktadır (14). Bu çalışmada, klasik Simon deneyi fare takibi paradigmasına uyarlanmıştır.

Fare izleme paradigmasında, el hareketi dinamikleri uzamsal çekim / eğrilik, karmaşıklık, hız ve ivme ile karakterize edilmektedir (9, 15). İkili seçimler içeren bir karar verme görevi için düzenlenen bir fare takibi deneyinde, yanıt seçenekleri tipik olarak sol üst ve sağ üst köşelere yerleştirilir ve başlangıç konumu her denemenin başlangıcında alt merkezde sabitlenir. Katılımcı, imleci köşelerden birine doğru sürükleyerek ve fareyi kaldırmadan yanıt kutusuna tıklararak seçimini kaydeder. Fare imlecinin izlediği yol, katılımcının söz konusu uyarına tepkisi olarak her deneme için kaydedilir.

MouseTracker yazılımı, her bir deneme için gözlemlenen el hareketi dinamiklerini karakterize etmeye yardımcı olmak için kaydedilen fare yanıtlarından türetilen, eğrinin altındaki alan (AUC), maksimum yerdeğişim (MD), maksimum yerdeğişime erişilen süre (MD-Time), x ve y eksenindeki dönüş sayıları (x-flips/y-flips) dahil olmak üzere çeşitli ölçümler sağlamaktadır. Bu karmaşıklık ölçütleri idealleştirilmiş bir yanıt yörüngesi baz alınarak hesaplanmaktadır (Şekil 1). MD (maksimum yerdeğişim), idealleştirilmiş en kısa yanıt yörüngesi ile aynı karara doğru giden yanıt yörüngesi arasındaki maksimum mesafeyi ifade eder. Eğrinin altındaki alan (AUC), kaydedilen yörünge ve idealleştirilmiş yörüngenin çevrelediği bölgenin geometrik alanıdır. Maksimum yerdeğişim süresi (MD-time), maksimum yerdeğişim noktasına ulaşmak için geçen süreyi ifade eder. X ve y eksenlerindeki dönüşler (x-flips/ y-flips), sırasıyla x ve y eksenleri boyunca fare yörüngesinde ters istikamette oluşan yön değişimlerinin sayısına karşılık gelir.

Maksimum yerdeğişim (MD) ve eğrinin altındaki alan (AUC) değerleri alternatif seçeneğin sahip olduğu çekim gücünün bir ölçütü olarak değerlendirilmektedir. Büyük MD ve AUC değerleri tereddüt veya diğer seçeneğe karşı daha yüksek derecede çekim olduğuna işaret eder. Maksimum yerdeğişim (MD), yanıt yörüngesinin seçilen yanıtı doğru kararlı bir biçimde yönelmeye başladığı noktayı işaretler. Bu nokta yörüngesinin bir yanıtı yakınsamaya başladığı kritik noktayı karakterize



Şekil 1. Sol kararlar için, uyarın-tepki uyumlu ve uyumsuz denemeleri gösteren fare takibi deneyinin sonuç ekranı. Sol alttaki şekil, bu denemeler için ortalama yörüngeleri göstermektedir. Siyah oklu çizgi ideal yörüngeyi gösteriyorken, kırmızı oklu çizgi uyumlu olmayan denemeler için maksimum yer değiştirmeyi göstermektedir. Siyah ve mavi çizgilerle çevrili alan, uyumlu olmayan denemeler için eğrinin altındaki alanı tanımlar.

etmek için kullanılmaktadır. Yanıt yörüngesi üzerinde x ve y ekseninde gözlenen yön değiştirme sayıları, fare yörüngelerinin karmaşıklık düzeyini niceliklendirmektedir. Seçilmemiş yanıt katılımcı için güçlü bir çekime sahip olduğu durumlarda, fare yörüngeleri daha dalgalı ve karmaşık yörüngeler izleme eğilimindedir. Başka bir deyişle, x ve y eksenindeki dönüş sayıları, karşılık gelen eksenler boyunca yanıt alternatifleri arasında elin kararsızlığındaki dalgalanmaların derecesini ölçmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada yer alan ilk deney, Scherbaum ve arkadaşlarının (5) klasik Simon görevinin fare takibi uyarlamasının bir tekrarını içermektedir. İkinci deneyde yanıt seçenekleri alt köşelere taşınarak bu tasarım değiştirilmiştir. Üçüncü deneyde ise, katılımcıların deneyin ilk yarısında belirli bir yönrenk eşlemesine (örn. yeşil sola ve kırmızı sağa) adapte olduğu, ikinci yarıda ise bu ilişkinin tersine çevrildiği bir *tersine Simon Etkisi* (16) deneyi fare takibi paradigmasına uyarlanmış ve bu etkinin fare yörüngelerinin dinamikleri üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir.

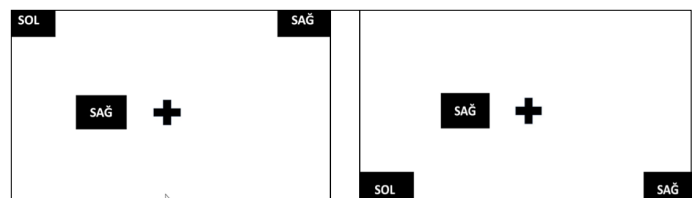
Tüm deneyler MouseTracker yazılımı (9) kullanılarak geliştirilmiş ve yürütülmüştür. Deneyler, Windows10 işletim sistemine sahip, 15,6 inç ekranı olan standart bir dizüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Fare hareketleri, 60 Hz'lik bir örnekleme frekansı ile bir Logitech M105 fare ile kaydedilmiştir. Deneyden önce, bir dışlama kriteri olarak kullanılmayan, ancak el tercihinin gözlemlenen tepkileri etkileyip etkilemediğini kontrol etmek için kullanılan Edinburgh El Baskınlık Testi (17) uygulanmıştır. Deneyden önce gönüllü katılımcılar deney süreci hakkında bilgilendirilmiş ve tüm katılımcılardan yazılı aydınlatılmış onam alınmıştır. Çalışmanın etik kurul onayı ODTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Protokol No: 122-ODTÜ-2019).

BULGULAR

Deney 1

Katılımcılar. Örneklem 20 ile 56 yaşları arasında ($Ort= 28,21$, $SS= 7,05$, $Mdn= 22$, $IKA: 20-31$) Türkçe konuşan 52 kişiden (15 kadın) oluşmaktadır. 52 katılımcıdan 47'si (% 94) sağ el baskınlığı göstermiştir. Sol el baskınlığı olan beş katılımcıdan ikisi fareyi sol elleriyle kullanmıştır. Tüm katılımcılar kendilerini günlük bilgisayar kullanıcıları olarak betimlemiş ve lise veya üniversite düzeyinde eğitim almış olduklarını beyan etmiştir.

Prosedür. Deney sırasında, katılımcılar fare takibi için uyarlanmış Simon görevini gerçekleştirdiler. Bu görevde her deneme sırasında ekranın ortasında bulunan sabit bir artı işaretinin solunda veya sağında bir uyarın görülmektedir. Katılımcılardan "Sol" yazan uyarını gördüklerinde, uyarının artı işaretine göre olan konumuna bakmaksızın, fareyi sol üst köşeye hareket ettirerek "Sol" etiketli yanıtı olabildiğince çabuk tıklamaları istenmiştir (Şekil 2). Benzer bir şekilde "Sağ" yazan uyarın görüldüğünde ise katılımcılardan sağ üst köşeye tıklayarak yanıt vermeleri istenmiştir. Katılımcılar el hareketinin sürekli ve doğru bir şekilde kaydedilebilmesi için deney sırasında fareyi fare altlığından kaldırmadan kullanmaları



Şekil 2. Deney 1 (soldaki şekil) ve deney 2 (sağdaki şekil) için kullanılan ekran düzeni. Her iki düzende de, uyarın ve hedef konumu birbiriyile uzamsal olarak uyumlu değildir.

konusunda bilgilendirilmiştir. Her denemenin başında katılımcıların başlat düğmesine tıklamasıyla uyarı ekranda gösterilmiş ve fare imleci başlangıç düğmesinin ortasına konumlandırılmıştır. Katılımcılara her bir uyarıya yanıt vermeleri için 2000 milisaniye süre tanınmıştır. Deney katılımcıyı göreve alıştırmak için kullanılan ilk 4 test denemesi dahil toplam 64 deneme içermektedir. Deney sırasında katılımcılara tamamen rastgele sırayla her bir sol-uyumlu, sol-uyumsuz, sağ-uyumlu ve sağ-uyumsuz koşulları için 15'er adet deneme gösterilmiştir. İlk deneyin amacı, bir fare takibi görevi sırasında uyarı-tepki uyumluluk etkisinin oluşumunu tekrarlamaktır.

Sonuçlar. Deney sırasında katılımcılar yanlış düğmeye yalnızca 5 denemede tıkladığı (% 0,016) için tüm denemeler analiz aşamasına dahil edilmiştir. İncelenen bağımlı değişkenler için betimsel istatistikler Tablo 1'de durum (uyumlu ve uyumsuz) ve hedef pozisyonu (sol ve sağ) sütunlarında özetlenmiştir. Her bir bağımlı değişken için uygulanan 2x2 tekrarlı ölçümler ANOVA sonucunda durumun (uyumlu ve uyumsuz); reaksiyon süresi ($F(1,51) = 49,91$, $MSE = 7404,88$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .49$), maksimum yerdeğişim (MD) ($F(1, 51) = 81,14$, $MSE = .06$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .61$), maksimum yerdeğişim süresi (MD-Time) ($F(1,51) = 21,17$, $MSE = 4894,23$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .29$), eğrinin altındaki alan (AUC) ($F(1,51) = 108,46$, $MSE = .11$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .68$), x-eksenindeki dönüş sayısı (x-flips) ($F(1,51) = 20,08$, $MSE = .54$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$) ve y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,51) = 39,38$, $MSE = .73$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .44$) değişkenleri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür.

Pozisyonun sadece y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,51) = 5,96$, $MSE = .52$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .10$) için anlamlı bir etki gösterdiği gözlenmiştir. Durum ve pozisyon arasındaki etkileşimin ise sadece maksimum yerdeğişim (MD) ($F(1,51) = 4,54$, $p < .05$, $MSE = .01$, $\eta_p^2 = .08$) için anlamlı olduğu gözlenmiştir. Pozisyonun y-eksenindeki dönüş sayısı üzerindeki etkisi, sağ köşeyi hedefleyen denemeler sırasında daha yüksek dönüş sayısı oluşmasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Maksimum mesafe üzerinde gözlenen anlamlı etkileşim etkisi ise sağ-uyumsuz denemelerin sol-uyumsuz denemelere göre daha yüksek maksimum yerdeğişim (MD) göstermesinden kaynaklanmaktadır. Analizler örneklem sadece sağ baskın katılımcılara kısıtlanarak tekrarlandığında bu etkiler değişmemiştir.

Deney 2

Katılımcılar. Örneklem 18 ile 50 yaşları arasında ($Ort. = 25,34$, $SS = 7,48$, $Mdn = 22$, $IKA: 20-31$) Türkçe konuşan 52 kişiden (14 kadın) oluşmaktadır. 52 katılımcıdan 44'ü (% 84) sağ el baskındır. Sol el baskınlığı olan sekiz katılımcıdan ikisi fareyi sol elleriyle kullanmıştır. Tüm katılımcılar kendilerini günlük bilgisayar kullanıcıları olarak betimlemiş ve lise veya üniversite düzeyinde eğitim almış olduklarını beyan etmiştir.

Prosedür. İlk deneyin tasarımı, fare imlecinin başlangıç konumu üst merkezde olacak şekilde değiştirilirken, yanıt seçenekleri sol-alt ve sağ-alt köşelere taşınmıştır (Şekil 1). Seçkisiz olarak gerçekleşen denemelerin sayısı ve süresi ilk deney ile aynı tutulmuştur. Bu deneyde bu tür uzamsal değişikliklerin tepki-uyumluluk etkisi üzerindeki muhtemel etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Başka bir deyişle, ilk deney kurgusunda maksimum yerdeğişim (MD) üzerinde görülen etkileşim etkisinin ve pozisyonun y-eksenindeki dönüş sayısı üzerindeki anlamlı etkisinin yeni deney kurgusunda devam edip etmeyeceğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

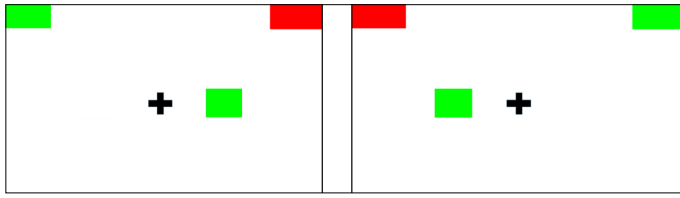
Sonuçlar. Katılımcılar tüm denemelerde doğru seçeneği işaretlediği için analizlerde reaksiyon ölçümlerine odaklanılmıştır. Deney 1 ve 2'den elde edilen veriler, yanıt hedefi konumundaki değişikliğin ana etkisini test etmek için birlikte analiz edildi. Yanıt pozisyonu (sol - sağ), yanıt durumu (uyumlu - uyumsuz) grup-İçi; hedef konumu (yanıt seçeneklerinin üst veya alt köşelerde olması) ise gruplar-arası bağımsız değişkenler olarak kaydedilerek 3-yönlü karışık ölçümler ANOVA analizi uygulandı.

Durumun (uyumlu-uyumsuz) reaksiyon süresi ($F(1,102) = 109,87$, $MSE = 11638,12$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .52$), maksimum yerdeğişim (MD) ($F(1,102) = 241,15$, $MSE = .05$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .70$), maksimum yerdeğişim süresi (MD-time) ($F(1,102) = 49,05$, $MSE = 4849,16$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .32$), eğrinin altındaki alan (AUC) ($F(1,102) = 180,87$, $MSE = .34$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .64$), x-eksenindeki dönüş sayısı (x-flips) ($F(1,102) = 34,01$, $MSE = .70$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .25$) ve y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,102) = 93,52$, $MSE = .89$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .48$) değişkenleri üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görüldü. Yanıt pozisyonunun (sol-sağ); sadece maksimum yerdeğişim (MD) ($F(1,102) = 6,98$, $MSE = .02$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .06$), eğrinin altındaki alan (AUC) ($F(1,102) = 5,96$, $MSE = .12$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .06$), x-eksenindeki dönüş sayısı (x-flips) ($F(1,102) = 14,70$, $MSE = .70$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .13$) ve y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,102) = 16,74$, $MSE = .88$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .14$) değişkenleri için anlamlı etkisi görüldü. Hedef konumunun (üst-alt) sadece x-eksenindeki dönüş sayısı ($F(1,102) = 39,97$, $MSE = .71$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$) ve y-eksenindeki dönüş sayısı ($F(1,102) = 60,72$, $MSE = .67$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .37$) değişkenleri üzerinde anlamlı etkisi olduğu görüldü. Durum ve konumun reaksiyon süresi ($F(1,102) = 6,31$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .06$), durum ve pozisyonun maksimum yerdeğişim ($F(1,102) = 12,04$, $MSE = .01$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .11$) ve pozisyon ve konumun eğri altındaki alan (AUC) ($F(1,102) = 5,96$, $MSE = .12$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .06$) değişkenleri üzerinde anlamlı etkileşimi görüldü. Son olarak, üç-yönlü etkileşim etkisi sadece y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,102) = 5,87$, $MSE = .46$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .05$) değişkeni için gözlemlendi. Analiz yalnızca sağ el baskın katılımcıların verileriyle tekrarlandığında

Tablo 1. Deney 1 ve 2 için hesaplanan betimsel istatistikler

		Üst (Deney 1)				Alt (Deney 2)			
		Sağ-sağda	Sol-solda	Sağ-solda	Sol-sağda	Sağ-sağda	Sol-solda	Sağ-solda	Sol-sağda
RS (ms)	Ort.	1225,20	1205,83	1307,21	1292,43	1247,05	1255,73	1409,41	1368,28
	SS	273,65	255,81	259,71	287,37	264,06	247,42	282,63	256,97
MD	Ort.	0,25	0,26	0,59	0,55	0,28	0,26	0,70	0,62
	SS	0,11	0,15	0,31	0,30	0,15	0,11	0,28	0,26
AUC	Ort.	0,29	0,35	1,00	0,99	0,36	0,30	1,34	1,02
	SS	0,22	0,30	0,72	0,77	0,29	0,18	0,75	0,59
MD-Time	Ort.	618,30	610,48	665,55	652,51	603,41	607,92	668,74	644,61
	SS	152,61	153,27	119,71	156,45	152,54	134,03	139,76	139,06
X-Flips	Ort.	6,30	6,00	6,66	6,55	8,12	7,62	8,55	8,19
	SS	1,60	1,58	1,53	1,75	1,68	1,44	1,58	1,48
Y-Flips	Ort.	5,00	4,90	5,89	5,50	7,11	6,52	7,96	7,73
	SS	1,32	1,25	1,65	1,50	1,54	1,44	1,64	1,56

RS: Reaksiyon süresi, MD: Maksimum yerdeğişim, AUC: Eğri altındaki alan, MD-Time: Maksimum yerdeğişim süresi, X-Flips: Fare yörüngelerinde X-eksenindeki dönüş sayısı, Y-Flips: Fare yörüngelerinde Y-eksenindeki dönüş sayısı, Sağ-sağda: Sağ komutunun sağ tarafta olması (uyumlu), Sağ-solda: Sağ komutunun sol tarafta olması (uyumsuz), Sol-sağda: Sol komutunun sağ tarafta olması (uyumsuz), Sol-solda: Sol komutunun sol tarafta olması (uyumlu)



Şekil 3. Deney 3 için kullanılan ekran düzeni.

aynı etkilerin gözlemlendiği ve etki boyutlarında ufak çaplı artışlar olduğu gözlemlendi.

Deney 3

Katılımcılar. Örneklem, 18 ile 44 yaşları arasında (A.O.=26,71, SS=6,78, Mdn=24, İKA:21,5-31) Türkçe konuşan 73 kişiden (29 kadın) oluşmaktadır. Üçüncü deneyde yer alan 73 katılımcıdan 65'i (% 89) sağ el baskındır. Sol el baskın olan sekiz katılımcıdan üçü fareyi sol elleriyle kullanmıştır. Tüm katılımcılar kendilerini günlük bilgisayar kullanıcıları olarak betimlemiş ve lise veya üniversite düzeyinde eğitim almış olduklarını beyan etmiştir.

Prosedür. Üçüncü deney için yönü kodlayan "sağ" ve "sol" etiketleri yerine yeşil ve kırmızının kullanıldığı iki seçeneğe sahip görevin renk tabanlı bir versiyonu oluşturulmuştur (Şekil 3). Görev, deneyin ortasında renk referanslarının konumlarının değiştirildiği iki aşama içermektedir. Dört deneme içeren bir alıştırmaya aşamasından geçtikten sonra katılımcılar, ilk renk-konum eşleşmesiyle 32 deneme tamamladıktan sonra renk

konumlarının değiştirildiği 32 deneme daha tamamladılar. Bu deneyin amacı, bir alıştırmaya aşamasına maruz kaldıktan sonra renk konumlarının tersine çevrilmesiyle ortaya çıkan tersine Simon etkisinin fare yanıtları üzerindeki etkisini gözlemlemektir.

Sonuçlar. Deneyin ilk bölümünün son 16 denemesi, belirli bir renk-yön eşleşmesinin olduğu bir kesit olarak tanımlandı. Deneyin ikinci bölümünün ilk 16 denemesi ise katılımcıların yeni renk-yön eşleşmesine uyum sağlamasını gerektiren bir geçiş dönemi olarak değerlendirildi (Tablo 2). Beklenen yanıt pozisyonu (sol-sağ), yanıt durumu (uyumlu-uyumsuz) ve sıra (önce-sonra) ana etkilerini sınamak için üç-yönlü tekrarlanan ölçümler ANOVA analizi gerçekleştirildi.

Durumun (uyumlu-uyumsuz); reaksiyon süresi ($F(1,71)=17,12$, $MSE=62323,72$, $p<,001$, $\eta_p^2=,19$), maksimum yerdeğişim (MD) ($F(1,71)=225,48$, $MSE=,45$, $p<,001$, $\eta_p^2=,76$), maksimum yerdeğişim süresi (MD-time) ($F(1,71)=154,93$, $MSE=1094,19$, $p<,001$, $\eta_p^2=,69$), eğrinin altındaki alan (AUC) ($F(1,71)=184,00$, $MSE=1,22$, $p<,001$, $\eta_p^2=,72$), x-eksenindeki dönüş sayısı (x-flips) ($F(1,71)=6,46$, $MSE=2,87$, $p<,05$, $\eta_p^2=,08$) ve y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,71)=15,71$, $MSE=2,57$, $p<,001$, $\eta_p^2=,18$) üzerinde anlamlı bir etki oluşturduğu görülmüştür. Sıra ve pozisyon etkileşimi sadece maksimum yerdeğişim (MD) ($F(1,71)=4,42$, $MSE=,20$, $p<,05$, $\eta_p^2=,06$), eğrinin altındaki alan (AUC) ($F(1,71)=5,77$, $MSE=,45$, $p<,05$, $\eta_p^2=,08$) ve y-eksenindeki dönüş sayısı (y-flips) ($F(1,71)=16,87$, $MSE=2,25$, $p<,001$, $\eta_p^2=,19$) için anlamlıydı. Analiz sadece sağ baskın katılımcılarla tekrarlandığında bu etkiler değişmedi.

Tablo 2. Deney 3 için hesaplanan betimsel istatistikler

		Önce				Sonra			
		Sağ-sağda	Sol-solda	Sağ-solda	Sol-sağda	Sağ-sağda	Sol-solda	Sağ-solda	Sol-sağda
RS (ms)	Ort.	1296,30	1320,35	1382,82	1401,58	1303,69	1310,69	1395,63	1395,28
	SS	380,38	386,68	422,34	404,64	367,27	420,10	386,85	506,18
MD	Ort.	0,28	0,28	0,61	0,63	0,31	0,30	0,69	0,62
	SS	0,22	0,20	0,30	0,30	0,20	0,23	0,34	0,30
AUC	Ort.	0,37	0,38	1,10	1,07	0,42	0,39	1,29	1,06
	SS	0,53	0,51	0,80	0,78	0,51	0,48	0,96	0,80
MD-Time	Ort.	604,75	619,11	586,66	620,18	587,86	607,69	619,19	630,25
	SS	211,00	236,67	143,96	201,17	169,23	217,96	199,14	226,99
X-Flips	Ort.	6,91	7,01	7,18	7,48	7,19	7,05	7,42	7,52
	SS	1,74	1,80	1,60	1,64	1,61	1,74	1,70	1,79
Y-Flips	Ort.	5,61	6,28	6,10	6,65	6,07	5,65	6,69	6,28
	SS	2,01	2,11	1,78	1,88	1,77	1,71	1,92	1,98

RS: Reaksiyon süresi, MD: Maksimum yerdeğişim, AUC: Eğri altındaki alan, MD-Time: Maksimum yerdeğişim süresi, X-Flips: Fare yörüngelerinde X-eksenindeki dönüş sayısı, Y-Flips: Fare yörüngelerinde Y-eksenindeki dönüş sayısı, Sağ-sağda: Sağ komutunun sağ tarafta olması (uyumlu), Sağ-solda: Sağ komutunun sol tarafta olması (uyumsuz), Sol-sağda: Sol komutunun sağ tarafta olması (uyumsuz), Sol-solda: Sol komutunun sol tarafta olması (uyumlu)

TARTIŞMA

Bu çalışmada, literatürde uyarın-tepki uyumluluk etkisini incelemek üzere sıklıkla kullanılan Simon ve tersine Simon deneyleri fare izleme paradigmasına uyarlanarak elde edilen motor tepki ölçümlerinin bu etkinin daha iyi anlaşılması için taşıdığı potansiyel araştırılmıştır. Ayrıca, yanıt seçeneklerinin üst veya alt köşelere yerleştirilmesi gibi deneysel tasarım seçimlerinin gözlemlenen fare dinamikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Klasik reaksiyon süresi ölçümleri üzerinde yapılan çalışmaların bulgularından öngörüldüğü üzere fare yörüngelerine ait dinamik ölçümlerin de uyarın-tepki uyumluluğu olan ve olmayan durumlara karşı güçlü bir duyarlılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Tepki-uyumluluk etkisi için eğri altındaki alan (AUC) ve maksimum yerdeğişim (MD) gibi fare takibinden türetilen dinamik ölçümler üzerinden elde edilen etki boyutunun reaksiyon süresinden elde edilen etki boyutuna kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle, çalışmanın

bulguları fare izleme yöntemiyle elde edilen ölçümlerin, reaksiyon süresine dayalı kıyaslamalara göre daha güçlü tepki-uyumluluk etkisi göstergeleri sağladığına işaret etmektedir.

Çalışma sonucunda karar denemeleri sırasında kaydedilen yanıt yörüngelerinin zamansal dinamiklerini ortaya çıkaran ölçümlerin fare takibi yönteminden elde edilen en güçlü bulguları sağladığı gözlemlenmiştir. Bu ölçümler fare izleme deneylerinin tasarımı hakkında da bazı önemli ipuçlarının elde edilmesini sağlamıştır. Örneğin, ilk deneyde maksimum yerdeğişim (MD) ölçüsü üzerinde gözlenen yer ve uyumluluk etkileşimi, katılımcıların "sağ" komutunu sol konumda gördükleri durumda, "sol" komutunu sağ konumda gördükleri duruma kıyasla daha çok tereddüt yaşadıklarını göstermiştir. Ayrıca, sağ yanıtı giden uyumlu olmayan denemeler sırasında kaydedilen yörüngelerde diğer yön koşuluna kıyasla daha yüksek y-ekseni dönüş sayısı (y-flips) değerinin gözlemlenmesi, katılımcıların sağa doğru verdiği yanıtların sola doğru verdiklerinden

daha karmaşık yörüngeler izlediklerini göstermektedir. Sol ve sağ yanıt arasındaki maksimum yerdeğişim (MD) ve y-eksenindeki dönüş sayıları (y-flips) bakımından gözlenen bu farklılıklar uyumlu denemeler sırasında ortadan kalkmıştır. Sadece sağ elini kullanan katılımcıların verilerine odaklanıldığında ise aynı etkiler benzer etki gücü düzeyinde gözlenmiştir. Özetle, bu sonuçlar bir kararı kaydetmek için sol ve sağ köşelere tıklarken gözlenen fare yörüngeleri arasında alternatif yanıtın çekim gücüne bağlı olarak bir farklılık oluştuğuna, ve özellikle seçim alternatifinin güçlü bir çekici olduğu denemelerde (örneğin, Simon görevindeki uyumsuzluk durumu) ekstra bir değişkenlik görülebileceğine işaret etmektedir.

Uyumsuz durumlarda sol ve sağ yanıt arasında gözlemlenen farklılığın yanıtların üstteki konumlarıyla bir ilgisi olup olmadığını test etmek için, katılımcıların üst merkezden başlayıp kararlarını kaydetmek için imleci sol veya sağ alt köşelerde bulunan yanıt seçeneklerine doğru hareket ettirdiği ters çevrilmiş bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu versiyonda da tüm bağımlı değişkenler arasında güçlü bir uyarın-tepki uyumluluk etkisi gözlemlenmiş olması Simon etkisinin deney düzeninde yapılan bu değişiklikten etkilenmediğine işaret etmektedir. Ancak, ilk deneyde kullanılan düzeneğe kıyasla yukarıdan aşağı köşelere hareket gerektiren bu kurguda katılımcıların kararlarını kaydetmelerinin daha uzun sürdüğü gözlemlenmiştir. Son olarak, maksimum yerdeğişim ve y-eksenindeki dönüş sayısı ölçümleri açısından uyumsuz denemelerde kaydedilen sağ ve sol yanıt arasında benzer bir asimetri bu kurguda da gözlemlenmiştir. Örneklem sağ elini kullanan katılımcılara filtrelediğinde de bu etkilerin varlığını koruduğu ve benzer etki büyüklüklerinin oluştuğu gözlenmiştir. Özetle, yukarıdan aşağı köşelere doğru imleç hareketi gerektiren deney düzeneği reaksiyon süreleri ve fare dinamikleri ölçümlerinde genel bir artışa neden olmuştur.

Deney 1 ve 2 sonucunda fare takibi ölçümlerinin deneyin uzamsal tasarımından etkilenebileceğine dair elde edilen bulgular fare izleme yöntemi üzerine yapılan son metodolojik çalışmaları destekler niteliktedir (11, 12). Deney sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, özellikle uyumlu denemelerin aksine alternatif seçeneğin güçlü bir çekici olduğu uyumlu olmayan denemeler sırasında sağ ve sol yanıtın simetrik yollar takip etmeyebileceğini gözlenmiştir. Benzer lateralizasyon etkileri daha önce Simon görevinin işitsel varyantında raporlanmıştır (18, 19). Sadece düğmeye basılarak yanıt verilen kurgu altta yatan motor dinamiklerini maskeleyiği için Simon görevinin klasik görsel-uzamsal versiyonunda böyle bir asimetri daha önce rapor edilmemiştir.

Deney 3, katılımcıların deneyin ilk yarısında belirli bir uyarın-tepki ilişkisini pekiştirdikleri, deneyin ikinci yarısında ise tersine çevrilen uyarın-tepki ilişkisine adapte olmaya çalıştıkları tersine Simon etkisine odaklanmıştır. Reaksiyon süresi analizi uyumlu ve uyumlu olmayan koşullar arasında önemli bir fark olduğunu göstermekle beraber, adaptasyon sırasında yanıtlarda oluşan gecikmenin bu farklılığa ait etki gücünde azalma olmasına neden olduğu, geçiş ve konum koşullarının ise reaksiyon zamanı üzerinde bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Benzer şekilde, maksimum yerdeğişime (MD) ve eğrinin altındaki alan (AUC) ölçümleri üzerinde yapılan kıyaslamalarda uyumlu ve uyumlu olmayan koşullar arasında anlamlı bir farklılık olduğu, bu farklılıklara ilişkin etki boyutlarının ise reaksiyon süresi için elde edilen etki boyutundan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak uyumluluk ve geçiş etkileşiminin maksimum yerdeğişime ve eğrinin altındaki alan ölçümleri üzerinde marjinal düzeyde anlamlı bir etki oluşturduğu görülmüştür. Tersine-Simon etkisinin en güçlü şekilde görüldüğü ölçümün geçiş periyodu boyunca yörüngelerin karmaşıklığındaki değişikliği gösteren y-eksenindeki dönüş sayıları olduğu gözlenmiştir.

SONUÇ

Özetle, üç deneyden elde edilen sonuçlar bir arada ele alındığında fare izleme yöntemiyle elde edilen ölçümlerin reaksiyon süresi analizine kıyasla karar dinamiklerini incelemek için önemli avantajlar sunduğu değerlendirilmiştir.

Motor dinamik ölçümlerinin getirdiği hassasiyet sayesinde reaksiyon süresi kıyaslamasında tespiti mümkün olmayan, sol ve sağ köşelere yönelik yanıtların uyumsuz denemeler sırasında uyumlu denemelere göre daha asimetrik yörüngeler izlemiş olduğu ortaya çıkarılmıştır. Sol ve sağ yöndeki yanıtlar arasında böyle bir farklılık olması, özellikle daha karmaşık karar süreçleri içeren ve çekim gücü yüksek alternatiflerin bulunduğu deney kurgularının tasarımı açısından göz önünde bulundurulması gereken bir faktör olarak öne çıkmıştır. Deney desenini yanıt konumlarını sol ve sağ yönler bakımından denkleştirmek, fare takibi ölçümleri üzerinde bu tür bir asimetrinin etkilerini azaltmanın bir yöntemi olarak düşünülebilir. Bu asimetrinin altında yatan olası nedenlerin daha iyi açıklanması için daha geniş kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğu değerlendirilmiştir. El kullanım tercihi bu bakımdan kontrol amaçlı olarak çalışma kapsamında incelenmiş olmakla beraber, örneklem ağırlıklı olarak sağ eli baskın katılımcılar içerdiğinden el tercihinin etkileri konusunda kesin bir yargıya bu çalışma kapsamında ulaşılamamıştır. Eşit sayıda sol ve sağ baskın katılımcı içeren bir deney kurgusu, yanıt yönü asimetrisi ve el tercihi arasındaki ilişkinin daha iyi tanımlanmasını sağlayabilir. Benzer bir şekilde bilgisayar kullanım sıklığı da sol fare yörüngelerine yönelik kısmi yanlılığı açıklamak için devam çalışmalarında kullanılabilir bir diğer faktör olarak değerlendirilebilir.

Fare takibi yöntemi yardımıyla elde edilen ölçümlerin, patolojik ve kontrol vakaları arasındaki farklılıklara odaklanarak karar verme süreçlerinin sinirsel temellerini incelemeyi hedefleyen nörobilim ve nöropsikiyatri alanları için de bazı önemli yansımaları olabileceği düşünülmektedir. Örneğin, bağlamsal ilişkisi nedeniyle sağlıklı katılımcılar üzerinde güçlü bir çekici etkisi olan karar alternatifleri, bağlamsal bilgilere tepki vermekte zorlandığı bilinen şizofreni grubu üzerinde aynı derecede etki oluşturmayabileceği için fare dinamikleri bu tür muhtemel farklılıkların sınanması için yararlı olabilir (20). Bir başka çalışma konusu, seçeneklerin subjektif değerlendirilmesinde rol oynadığı düşünülen ventromedial prefrontal ve striatum bölgeleri ile bir seçim yapmada rol oynadığı düşünülen lateral prefrontal ve parietal bölgeleri içeren nöral aktivasyon örüntüleri ile fare yörüngelerinin dinamik özellikleri arasında ne tür nedensellik ilişkilerinin olduğunun incelenmesidir (21). Son olarak, normlanmış fare izlerine kıyasla aşırı derecede bozulma ve titreme gösteren fare yörüngelerine ait dinamik ölçümlerin motor ve serebellum bozuklukları için tanısallık amaçla kullanımı söz konusu olabilir (22).

Etik Komite Onayı: Çalışmanın etik kurul onayı ODTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Protokol No: 122-ODTÜ-2019).

Hasta Onamı: Deneyden önce gönüllü katılımcılar deney süreci hakkında bilgilendirilmiş ve tüm katılımcılardan yazılı aydınlatılmış onam alınmıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış Bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir - Bİ, MPC; Tasarım - Bİ, MPC; Denetleme - Bİ, MPC; Kaynaklar - Bİ, MPC; Material: Bİ, MPC; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi - Bİ, MPC; Analiz ve/veya Yorum - Bİ, MPC; Literatür Taraması - Bİ, MPC; Yazıyı Yazan - Bİ, MPC; Eleştirel İnceleme - MPC.

Çıkar Çatışması: Çalışmamızda herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Finansal Destek: Çalışmamızda herhangi bir finansal destek kullanılmamıştır.

KAYNAKLAR

1. Jastrow J. The Time-relations of Mental Phenomena. New York: Hodges; 1890.
2. Donders FC. On the speed of mental processes. Acta Psychol 1868/1969;30:412-431. [Crossref]
3. Luce RD. Response times: Their role in inferring elementary mental organization. New York: Oxford University Press; 1986.
4. Sternberg S. The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. Acta Psychol 1969;30:276-315. [Crossref]
5. Hilchey MD, Ivanoff J, Taylor TL, Klein RM. Visualizing the temporal dynamics of spatial information processing responsible for the Simon effect and its amplification by inhibition of return. Acta Psychol 2011;136:235-44. [Crossref]

6. Scherbaum S, Dshemuchadse M, Fischer R, Goschke T. How decisions evolve: The temporal dynamics of action selection. *Cognition* 2010;115:407–416. [\[Crossref\]](#)
7. Spivey MJ. *The Continuity of Mind*. New York: Oxford University Press; 2007.
8. Spivey MJ, Dale R. Continuous dynamics in real-time cognition. *Curr Dir Psychol* 2006;15:207–211. [\[Crossref\]](#)
9. Freeman JB, Ambady N. MouseTracker: Software for studying real-time mental processing using a computer mouse-tracking method. *Behav. Res. Methods Instr. Comput* 2010;42:226–241. [\[Crossref\]](#)
10. Kieslich PJ, Henninger F. Mousetrap: An integrated, open-source mouse-tracking package. *Behav Res Methods Instr Comput* 2017;49:1652–1667. [\[Crossref\]](#)
11. Schoemann M, Lüken M, Grage T, Kieslich PJ, Scherbaum S. Validating mouse-tracking: How design factors influence action dynamics in intertemporal decision making. *Behav Res Methods Instr Comput* 2019;51:2356–2377. [\[Crossref\]](#)
12. Scherbaum S, Kieslich PJ. Stuck at the starting line: How the starting procedure influences mouse-tracking data. *Behav Res Methods Instr Comput* 2018;50:2097–2110. [\[Crossref\]](#)
13. Simon JR, Wolf JD. Choice reaction time as a function of angular stimulus-response correspondence and age. *Ergonomics* 1963;6:99–105. [\[Crossref\]](#)
14. Hommel B. The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychol* 2011;136:189–202.
15. Kieslich PJ, Henninger F, Wulff DU, Haslbeck J, Schulte-Mecklenbeck M. Mouse-tracking: A practical guide to implementation and analysis. In: Schulte-Mecklenbeck M, Kuehberger A, Johnson JG, editors. *A Handbook of Process Tracing Methods*, 2nd ed. New York: Routledge; 2018. p.146–160.
16. Hommel B. Inverting the Simon effect by intention. *Psychol Res* 1993;55:270–279. [\[Crossref\]](#)
17. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97–113. [\[Crossref\]](#)
18. Buetti S, Kerzel D. Time course of the Simon effect in pointing movements for horizontal, vertical, and acoustic stimuli: Evidence for a common mechanism. *Acta Psychol* 2008;129:420–428. [\[Crossref\]](#)
19. Nishimura A, Yokosawa K. Effects of laterality and pitch height of an auditory accessory stimulus on horizontal response selection: The Simon effect and the SMARC effect. *Psychon Bull Rev* 2009;16:666–670. [\[Crossref\]](#)
20. Servan-Schreiber D, Cohen JD, Steingard S. Schizophrenic deficits in the processing of context: A test of a theoretical model. *Arch Gen Psychiatry* 1996;53:1105–1112. [\[Crossref\]](#)
21. Kable JW, Glimcher PW. The neurobiology of decision: consensus and controversy. *Neuron* 2009;63:733–745. [\[Crossref\]](#)
22. White RW, Horvitz E. Population-scale hand tremor analysis via anonymized mouse cursor signals. *NPJ Digit Med* 2019;2:1–7. [\[Crossref\]](#)