

Araştırma Makalesi | Research Article

Aracın Hızını Doğru Ayarlamak: Hızlanma ve Yavaşlamanın Görsel Kontrolü

Didem Kadıhasanoğlu^{1*} , Gizem Serin Atış^{1,2} ¹ TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye.² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

Özet

Araç hızının trafik ortamının gerektirdiği şartlara göre ayarlanması sürücüler için algısal-motor bir görevdir. Sürücülerin bu görevi nasıl gerçekleştirdiklerini anlamak trafik kazalarını anlamının temel bileşenidir. Bu çalışmada, araba kullanmaya benzer bir görev ile yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejileri incelenmiştir. Alanyazındaki benzer çalışmalar incelendiğinde yaklaşma hızının kontrolünün bugüne kadar sadece yavaşlamanın mümkün olduğu deneysel düzeneklerle incelendiği görülmektedir. Göz ardı edilen ikinci nokta fren sistemi özelliklerinin sürücü davranışı üzerindeki etkileridir. Çalışmaların neredeyse tamamında lineer bir fren kullanılmıştır. Mevcut çalışmanın amacı, yol üstündeki bir engele çarpmadan durma görevi bağlamında yavaşlamayla birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu ve fren sisteminin lineer olmadığı koşullarda yaklaşma hızının nasıl kontrol edildiğini araştırmaktır. Mevcut çalışma, hızlanmanın davranış üzerindeki etkilerini inceleyen alanyazındaki bilinen ilk çalışmadır. Dürtüsel kontrol davranışının incelendiği Deney 1'in bulguları, fren sisteminin lineer olmadığı durumda hızlanmanın fren ve/veya gazdaki ani değişimlerin sayısını artırdığını ve hızın kontrolünde kullanılan kritik tau değerlerini yükselttiğini göstermiştir. Buna ek olarak, engele yaklaştıkça kullanılan kritik tau değerlerinde lineer bir artış gözlenmiştir. Böyle bir dürtüsel kontrol davranışı daha önce alanyazında raporlanmamıştır. Kesintisiz kontrol davranışının incelendiği Deney 2'nin bulguları, hızlanmanın olduğu koşullarda gözlenen oransal değişim değerlerinin, sadece yavaşlamanın olduğu koşullarda gözlenen değerlerle çok yakın olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, fren sisteminin lineer olmadığı durumda, hızlanmanın kesintisiz kontrol davranışını etkilemediğini destekler niteliktedir. Mevcut çalışmanın bulguları fren sistemi, hızlanma gibi faktörlerin kesintisiz kontrol davranışından ziyade dürtüsel kontrol davranışını etkilediğine, dürtüsel kontrol davranışının koşullara göre çeşitlilik gösterebileceğine işaret etmektedir. Dürtüsel kontrol davranışının sistematik bir şekilde araştırılmasının sürücü hatası kaynaklı trafik kazalarını anlama konusunda önemli öngörüler sunacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: yaklaşma hızının kontrolü, dürtüsel kontrol davranışı, kesintisiz kontrol davranışı, sabit tau stratejisi, oransal değişim kontrolü

Controlling the Speed of a Vehicle: Visual Control of Acceleration and Deceleration

Abstract

Controlling vehicle speed based on the demands of the traffic environment is a perceptual-motor task for drivers. Understanding how drivers perform this task is essential for understanding traffic accidents. This study examines the optical variables and control strategies used to control speed. The control of speed has primarily been investigated using experimental setups that only allow for deceleration. Another point that needs further investigation is the effect of the brake system on driver behavior. In almost all previous studies, linear brakes were used. The aim of this study is to investigate how speed is controlled when both deceleration and acceleration are possible, and the brake system is non-linear. This study is the first known work in the literature to examine the effects of acceleration on driver behavior. Experiment 1 focused on the impulsive braking behavior and revealed that when the brake system is non-linear, acceleration increased both the number of rapid changes in the brake/throttle and the critical tau values used to control speed. Also, the critical tau values increased linearly as participants approached the obstacle, revealing a previously unreported impulsive control behavior. Experiment 2 revealed that when the brake system was non-linear, acceleration did not affect continuously-regulated braking behavior. The proportional rate values used when acceleration was possible were very close to those used when only deceleration was allowed. These findings suggest that impulsive braking behavior is more complex than previously characterized and factors such as the brake system and acceleration mostly affect impulsive braking behavior.

Keywords: visually-guided braking, impulsive braking, continuously-regulated braking, constant tau strategy, proportional rate control

* İletişim / Contact: Didem Kadıhasanoğlu, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü, Söğütözü Caddesi No:43, Söğütözü, 06560, Ankara-Türkiye; e-posta: dkadi@etu.edu.tr
Gönderildiği tarihi / Date submitted: 31.07.2023, Kabul edildiği tarih / Date accepted: 30.10.2023
Alıntı / Citation: Kadıhasanoğlu, D. ve Serin Atış, G. (2024). Aracın hızını doğru ayarlamak: Hızlanma ve yavaşlamanın görsel kontrolü. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 1-18. doi: 10.38002/tuad.1335140

Aracın Hızını Doğru Ayarlamak: Hızlanma ve Yavaşlamanın Görsel Kontrolü

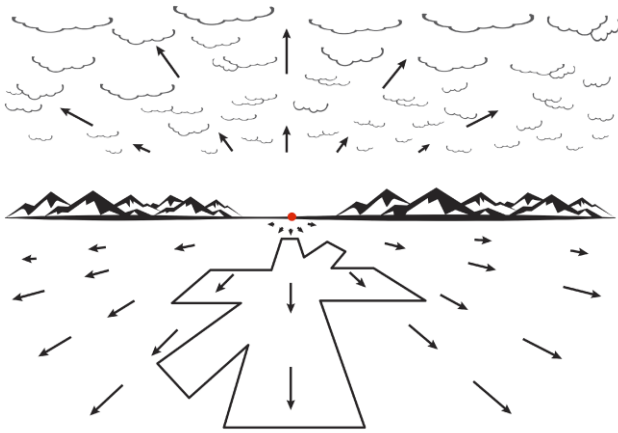
Karayolu trafiği, temel bileşenleri insanlar (sürücüler ve yayalar), araçlar ve çevre olan karmaşık bir dinamik sistemdir; bir başka deyişle insanlar, araçlar ve çevre arasındaki karmaşık etkileşimlerin sonucu olarak ortaya çıkar. Ne yazık ki bazı durumlarda sürücü, araç ve çevre arasındaki bu karmaşık etkileşimler trafik kazaları ile sonuçlanmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Kazaları Dairesi Başkanlığının 2023 yılında yayınladığı rapora göre 2022 yılında yaşanan trafik kazalarının yaklaşık %87'sini sürücü kusurları sebebiyle meydana gelen kazalar oluşturmaktadır (Trafik Kazaları Dairesi Başkanlığı, 2023). Sürücü kusuru sonucu yaşanan kazalar incelendiğinde ise bu kazaların yaklaşık %37'sinin araç hızının yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara göre ayarlanamaması sebebiyle yaşandığı görülmekte, kazalara yol açan birincil sürücü kusurunun araç hızının doğru ayarlanamaması olduğu anlaşılmaktadır (Trafik Kazaları Dairesi Başkanlığı, 2023).

Araç hızının trafik ortamının gerektirdiği şartlara göre ayarlanması sürücüler için temelde algısal-motor bir görevdir; Duyu organlarımız aracılığı ile çevreden bilgi edinmeyi ve bu bilgileri kullanarak gerekli motor hareket(ler)i gerçekleştirmeyi gerektirir. Bu sebeple, sürücülerin bu algısal-motor görevi nasıl gerçekleştirdiklerini anlamak hem trafik akışı ve dinamiklerini hem de trafik kazalarını anlamının ve bu sayede trafik güvenliğini artıracak stratejiler geliştirebilmenin en temel bileşenlerinden biridir. Araba kullanmak gibi görsel algı ve eylemin koordineli bir biçimde çalışmasını gerektiren davranışlar görsel güdümlü davranışlar olarak adlandırılır. İnsanların görsel güdümlü davranışları nasıl gerçekleştirdiklerini açıklamak üzere geliştirilmiş en önemli kuramlardan biri James J. Gibson tarafından geliştirilen algı/eyleme bilgi temelli yaklaşımdır (Gibson, 1979/1986).

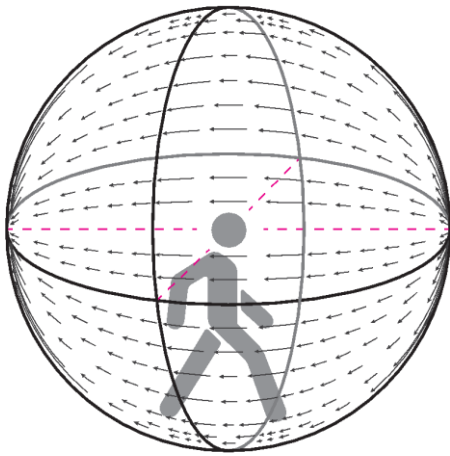
Gibson'ın kuramının temelinde *optik akış* (optic flow) kavramı bulunmaktadır. Bir gözlemci, bulunduğu çevrede hareket ettiğinde gözlemcinin gözünde optik akış olarak adlandırılan optik bir hareket (optical motion) örüntüsü oluşur (bkz. Şekil 1a). Optik akış merkezinde gözlemcinin gözünün bulunduğu optik bir küre şeklinde düşünülebilir (bkz. Şekil 1b). Optik akışın en iyi şekilde deneyimlendiği durumlardan biri, açık bir arazide arabayla seyahat edildiği durumdur. Arabanın ön camından

bakıldığında araba ve çevrenin bağlı hareketinden dolayı çevredeki nesnelere hareket ediyormuş gibi görünür. Bir başka deyişle, çevredeki hareketsiz nesne ve yüzeylerin gözlemcinin gözünde oluşan optik hareket örüntüsü içerisinde optik bir hızları vardır. Bu optik hareket, *yayılma odağı* (focus of expansion, bkz. Şekil 1a) denen ufuktaki bir noktadan çıkarak yayılır; aynı zamanda, *daralma odağı* (focus of contraction) denen hareket yönünün tam tersi yönde bulunan ufuktaki bir noktaya yakınsar. Diğer bir ifadeyle, arabanın ön camından bakıldığında nesnelere yayılma odağından çıkarak bize doğru yaklaşıyormuş gibi görünürken, arabanın arka camından bakıldığında nesnelere daralma odağına doğru bizden uzaklaşıyormuş gibi görünür. Nesnelere yaklaşma/uzaklaşma hızları: (1) gözlemcinin hızına, (2) varsa nesnelere kendi hızlarına, (3) nesnelere uzaklıklarına ve (4) nesnelere gözlemcinin hareket yönüne göre açılmasına bağlıdır (Gibson, 1979/1986). Örneğin, yolun hemen yanındaki elektrik direkleri, daha uzakta olan ağaçlara göre çok daha hızlı hareket ediyormuş gibi algılanır, yani optik hızları daha fazladır.

Gözlemci ve çevrenin bağlı hareketi sonucu oluşan optik akış, çevrenin üç boyutlu yapısı, çevredeki nesne ve yüzeylerin birbirlerine göre konumları, gözlemcinin hareketi ve çevrede hareketli nesnelere varsa bu nesnelere hareketleri hakkında zengin bir bilgi kaynağıdır. Optik akış her an değişim içinde olsa da optik akış içerisinde korunan örüntüler vardır. Görsel sistemimiz bu örüntülere duyarlıdır ve örüntülerin sağladığı bilgiler davranışın kontrolü için kullanılır. Örneğin, çevrede hareketli nesnelere olmadığı durumda, gözlemci gözleri ve başı sabit bir şekilde (göz ve baş hareketleri olmadan) hareket ettiğinde optik akış içerisinde bulunan yayılma odağı gözlemcinin hareket yönüne karşılık gelir. Gözlemci belirli bir nesneye doğru yönelmek istiyorsa, optik akış içerisindeki yayılma odağı bu nesne ile çakışacak şekilde hareket etmelidir (Gibson, 1958). Optik akış içinde korunan bu örüntülere *optik değişken* (optical variable) adı verilir. Farklı optik değişkenler farklı davranışların gerçekleştirilmesi için bilgi sağlar. Görsel sistem, bir ölçüm aleti gibi (herhangi bir hesaplama yapmadan) optik değişkenlerin değerlerini doğrudan optik akıştan ölçer ve bu değişkenlerin sağladığı bilgiler davranışın kontrolü için kullanılır. Algı/eyleme bilgi temelli yaklaşımın temel amacı, davranışın kontrolü için kullanılan optik değişkenleri ve bu optik değişkenleri hız, ivme, yön gibi kontrol değişkenleri ile eşleştiren kontrol stratejilerini araştırmaktır.



(a)



(b)

Şekil 1. (a) Gözlemci ve çevrenin bağlı hareketi sonucu oluşan optik akış. Kırmızı nokta optik akışın yayılma odağını göstermektedir (Şekil Gibson'dan (1979/1986) uyarlanmıştır). (b) Optik akış, merkezinde gözlemcinin gözünün bulunduğu optik bir küre şeklinde düşünülebilir

Bu çalışmada, araba kullanmaya benzer “yüksek hızla seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan durma” görevi bağlamında, yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejileri incelenmektedir. Bu görevi gerçekleştirirken insanlar dürtüsel kontrol davranışı ve kesintisiz kontrol davranışı olmak üzere iki tür davranış sergiler (Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995). Dürtüsel kontrol davranışının ayırt edici özelliği frendeki ani ve kesintili değişimlerdir. Dürtüsel kontrol davranışı ani bir frenin ardından frenin bırakılması, ardından tekrar fren yapılması şeklinde açıklanabilir. Kesintisiz kontrol davranışında ise fren sürekli bir şekilde kullanılır. Frene basıldıktan sonra durana kadar fren yapmaya devam edilir; fren, gerektiğinde artırılır veya azaltılır ama hiçbir zaman tamamen bırakılmaz.

Alanyazındaki daha önceki çalışmalarda (bkz. Fajen, 2005; Yılmaz ve Warren, 1995) sadece kesintisiz kontrol davranışı incelenmiştir. Alanyazındaki en güncel çalışmalarda ise (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021) kesintisiz kontrol davranışı ile birlikte dürtüsel kontrol davranışı da incelenmiştir. Aşağıda daha ayrıntılı tartışılacak olan bu çalışmalardan ilki olan Kadıhasanoğlu ve ark.'nın (2021) çalışmasında, dürtüsel kontrol ve kesintisiz kontrol davranışları sadece yavaşlamanın mümkün olduğu ve fren sisteminin lineer olduğu koşulda incelenmiştir. Kadıhasanoğlu'nda (2022) ise yine sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda, ancak bu kez lineer olmayan bir fren sistemi kullanılarak fren sisteminin davranış üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır.

Özetle, alanyazında bugüne kadar yapılmış benzer çalışmalar (bkz. Fajen, 2005; Kadıhasanoğlu, 2022; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995) birlikte değerlendirildiğinde iki temel eksiklik öne çıkmaktadır. Birinci eksiklik, bu görevinin altında yatan optik değişkenler ve bu değişkenlere bağlı kontrol stratejilerinin sadece yavaşlamanın mümkün olduğu deneysel düzenekler içerisinde incelenmiş olmasıdır. Trafikğin doğal akışı göz önünde bulundurulduğunda, sadece yavaşlamanın var olduğu durumlar söz konusu değildir. Yaklaşma hızının kontrolü çoğu zaman hem yavaşlamayı hem de hızlanmayı gerektirir. Örneğin, bir aracı sollamak, gereğinden fazla fren yapıldığında hızı yeniden düzenlemek gibi durumlar hızlanmayı da gerektirir. Dolayısıyla, sadece yavaşlamanın mümkün olduğu bir deneysel düzeneğin ekolojik geçerliliği düşüktür. Bu nedenle, yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejilerini araştırırken hızlanmanın da mümkün olduğu durumları oluşturmak önemlidir.

Alanyazında göz ardı edilen ikinci bir nokta taşıt dinamiklerinin, özellikle de fren sistemi özelliklerinin, sürücü davranışı üzerindeki etkileridir. Alanyazındaki çalışmaların neredeyse hepsinde lineer bir fren sistemi kullanılmıştır. Bir başka ifadeyle, fren olarak kullanılan kumanda kolu (joystick) veya pedalın pozisyonundaki bir birimlik değişim, yavaşlama ivmesinde bir birimlik değişime eşittir. Alanyazında lineer olmayan bir fren fonksiyonu (*Lineer olmayan bir fren fonksiyonunun lineer fren fonksiyonundan temel farkı, fren olarak kullanılan kumanda kolu veya pedalın pozisyonundaki eşit birimlik değişimlerin yavaşlama ivmesinde farklı değişimlere sebep olmasıdır.*)

kullanılarak, fren sistemi özelliklerinin davranış üzerindeki etkilerinin araştırıldığı tek çalışma Kadıhasanoğlu'nun (2022) çalışmasıdır. Ancak, bu çalışmada fren sisteminin davranış üzerindeki etkileri yukarıda da belirtildiği üzere sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda incelenmiştir.

Bu iki önemli eksiliğin doğrultusunda, mevcut çalışmanın amacı, yol üstündeki bir engele çarpmadan durma görevi bağlamında, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu ve fren sisteminin lineer olmadığı koşulda dürtüsel kontrol ve kesintisiz kontrol davranışlarının altında yatan optik değişkenleri ve kontrol stratejilerini incelemektedir. Bu sayede, fren sistemi özellikleri ve hızlanmanın davranış üzerindeki etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla araştırılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, mevcut çalışma Kadıhasanoğlu (2022) çalışmasının devamı niteliğindedir ve hızlanmanın yaklaşma hızının kontrolü üzerindeki etkilerini inceleyen alanyazındaki bilinen ilk çalışmadır.

1.1. Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilir optik değişkenler

Alanyazında yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilirliği öne sürülen ilk optik değişken Lee (1976) tarafından önerilen tau (τ) değişkenidir. Tau nesnelere temas zamanı (time-to contact) hakkında bilgi sağlar. Bir başka ifadeyle, tau, o an sahip olunan hız sabit tutulursa gözlemcinin ne kadar zaman sonra nesneye çarpacağı hakkında bilgi sağlar. Örneğin, tau'nun değerinin 5.0 olduğu anda sahip olunan hız sabit tutulursa beş saniye sonra nesneye çarpılır. Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilir ikinci optik değişken yine Lee (1976) tarafından önerilen tau-dot ($\dot{\tau}$) değişkenidir. Tau değişkeninin zamana göre birinci türevi olan tau-dot değişkeni, frenleme esnasında yavaşlama ivmesinin (deceleration) çarpmadan durmak için yeterli olup olmadığı hakkında bilgi sağlar. Yavaşlama veya hızlanma olmadan, bir nesneye sabit hızla yaklaşıldığı durumda tau-dot'ın değeri -1.0 'de sabit kalır. Tau-dot'ın değeri -0.5 'ten küçükse (-1.0 ve -0.5 arasındaysa), o an sahip olunan yavaşlama ivmesi (fren) nesneye çarpmadan durmak için yeterli değildir; Gözlemci gereğinden az fren yapmaktadır ve freni artırmadığı takdirde nesneye çarpar. Tau-dot'ın değerinin -0.5 'ten büyük olduğu durumda ise (tau-dot -0.5 ve 0.0 arasındaysa), o an sahip olunan yavaşlama ivmesi (fren) gereğinden fazladır ve gözlemci freni azaltmadığı takdirde nesneden uzakta durur. Tau-dot'ın değerinin -0.5 'e eşit olduğu durum

özel bir durumdur. Gözlemci, tau-dot'ın değeri -0.5 olduğu anda sahip olduğu yavaşlama ivmesini (fren) sabit tutarsa çarpmadan nesnenin tam önünde durur. Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilir üçüncü optik değişken Anderson ve Bingham (2010) tarafından önerilen oransal değişim (proportional rate) değişkenidir. Oransal değişim değişkeni matematiksel olarak tau-dot/tau şeklinde tanımlanır; yavaşlama ivmesinin (frenin) nesne ile temas zamanına (tau) bağlı olarak kontrol edilmesine olanak sağlar.

1.2. Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilir kontrol stratejileri

Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilir ilk kontrol stratejisi Bingham (1995) tarafından önerilen sabit tau stratejisidir. Bu kontrol stratejisi ile yaklaşma hızı temas zamanına bağlı olarak kontrol edilir. Sabit tau stratejisinin biri dürtüsel kontrol davranışı, diğeri kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkaran iki türü bulunmaktadır. Dürtüsel kontrol davranışı ortaya çıkaran *esnek sabit tau stratejisinde*, tau frene başlama ve freni bırakma zamanının belirlenmesinde kullanılır. Bu kontrol stratejisi, "tau'nun kritik bir değer altına düşmesine izin verme" şeklinde açıklanabilir. Daha ayrıntılı açıklamak gerekirse, tau'nun değeri kritik değere yaklaştığında frene başlanır; hızdaki azalma nesne ile temas zamanını, dolayısıyla tau'nun değerini artırır; tau'nun değeri güvenli bir değere ulaştığında fren bırakılır. Frenin bırakılması tau'nun değerinin yeniden azalmasına yol açar. Tau tekrar kritik değere yaklaştığında yine frene başlanır. Kullanılan kritik ve güvenli tau değerleri hem sürücünün kişilik özellikleri ve sürücü becerilerine hem de fren sistemi özellikleri, yol koşulları gibi faktörlere bağlıdır. Örneğin, trafikte riskli davranış sergileyen bir sürücünün kullandığı kritik tau değeri güvenli sürüş sergileyen bir sürücünün kullandığından daha düşük olabilir. Benzer şekilde, aracın freninin güçlü olmadığı, yolun ıslak veya buzlu olduğu durumlarda kullanılan kritik tau değerleri daha büyük olabilir.

Kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkaran *tam sabit tau stratejisi* çarpmadan nesnenin önünde durabilmek için hızın, tau belli bir değerde sabit kalacak şekilde değiştirilmesi gerektiğini söyler. Tau'nun değerini belli bir değerde sabit tutabilmek, hızın mesafe ile orantı bir şekilde sürekli azaltılmasını gerektirdiğinden kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkarır. Teorik olarak, tam sabit tau stratejisi kullanıldığında sabit bir yavaşlama ivmesi ile

nesnenin önünde sarsıntısız bir biçimde durmak mümkündür. Ancak, bugüne kadar yapılan araştırmalarda, bu stratejinin kullanıldığına dair herhangi bir bulgu elde edilememiştir.

Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilecek ikinci kontrol stratejisi Lee (1976) tarafından önerilen sabit tau-dot stratejisidir. Yukarıda da açıklandığı üzere tau-dot'ın değeri -0.5 olduğu anda sahip olduğu yavaşlama ivmesi (fren) sabit tutulursa nesnenin tam önünde durulabilir. Dolayısıyla, sabit tau-dot stratejisi, çarpmadan nesnenin önünde durmak için, hızın tau-dot'ın değeri -0.5 'te sabit kalacak şekilde ayarlanması gerektiğini söyler. tau-dot'ın değeri -0.5 'ten büyükse, fren tau-dot -0.5 'e düşecek şekilde azaltılır. tau-dot'ın değeri -0.5 'ten küçükse, fren tau-dot -0.5 'e yükselecek şekilde arttırılır. Tau-dot'ın değeri -0.5 olduğu anda uygulanan fren sabit tutulursa tau-dot'ın değeri -0.5 'te sabit kalır ve çarpmadan, nesnenin tam önünde durulur. Herhangi bir hatadan dolayı (gerekenden fazla/az veya gerekenden uzun/kısa süre fren yapmak gibi) tau-dot'ın değeri -0.5 'ten saparsa, frenin tau-dot tekrar -0.5 olacak şekilde yeniden ayarlanması gerekir. Tau-dot'ın değerini -0.5 'te sabit tutmak hızın sürekli bir şekilde kontrol edilmesini gerektiğinden sabit tau-dot stratejisi kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkarır.

Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılabilecek üçüncü olası kontrol stratejisi Anderson ve Bingham (2010) tarafından önerilen oransal değişim kontrolüdür (proportional rate control) ve çarpmadan nesnenin önünde durabilmek için hızın, oransal değişim değişkeni belli bir değerde sabit kalacak şekilde ayarlanması gerektiğini söyler. Oransal değişim değişkeninin belli bir değerde sabit kalması için tau, yani nesne ile temas zamanı, değiştiğinde tau-dot'ın da orantılı bir şekilde değişmesi gerekir. Örneğin, oransal değişimin değerini -0.25 'te sabit tutmak için tau 4.0 olduğunda tau-dot'ın -1.0 olması; tau 2.0 'ye, düştüğünde tau-dot'ın da -0.50 olması gerekir. Yukarıda tartışıldığı üzere, yavaşlama ivmesi (fren) az olduğunda tau-dot'ın değeri -1.0 'e yakındır, fren artırıldıkça tau-dot'ın değeri 0 'a yaklaşır. Dolayısıyla tau büyükken, yani nesne ile temasa daha zaman varken çok fren yapmaya gerek yoktur, tau-dot -1.0 civarında olabilir. Ancak, nesneye yaklaştıkça, yani nesne ile temas zamanı (dolayısıyla tau) azaldıkça fren artırılmalı ve tau-dot'ın değişmesi sağlanmalıdır. Oransal değişimi belli bir değerde sabit tutmak, frenin sürekli olarak kontrol edilmesini gerektirdiğinden kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkarır.

Hem sabit tau-dot stratejisi hem de oransal değişim kontrolü kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkarır. Ancak, sabit tau-dot stratejisi ile karşılaştırıldığında oransal değişim kontrolünün iki temel avantajı vardır. Öncelikle, çarpmadan durabilmek için sabit tutulması gereken tek bir değer (-0.5) öneren sabit tau-dot stratejisinin aksine, oransal değişim kontrolü, sabit tutulduğunda başarı ile durmayı sağlayacak bir değerler aralığı sunar (Anderson ve Bingham, 2010; Fath ve ark., 2013). Bu güvenli aralık içinde, oransal değişimi farklı değerlerde sabit tutmak ne kadar süre sonra nesnenin önünde durulacağını belirler. Daha açık ifade etmek gerekirse, frendeki ani ve yüksek bir artış ile daha kısa sürede mi, yoksa daha kademeli ve kontrollü bir artışla daha uzun bir sürede mi durulacağını belirler. Dolayısıyla, oransal değişim kontrolü güvenli veya riskli gibi farklı sürücü davranışlarının nasıl ortaya çıktığını da açıklayabilmektedir. Ayrıca, oransal değişim için çarpmadan durmayı sağlayacak bir değerler aralığı olduğundan farklı bir oransal değişim değerinin seçilmesi veya koşulların (örneğin fren kabiliyetindeki ani düşüşler gibi) farklı bir oransal değişim değerini kullanmayı gerektirmesi gibi durumlar her zaman çarpışma ile sonuçlanmaz. Seçilen oransal değişim değerinin sabit tutulmasının, mevcut fren kapasitesiyle artık mümkün olmadığı durumda gözlemciler yeni bir oransal değişim değeri kullanabilir. Dolayısıyla, oransal değişim kontrolü ani ve beklenmedik değişimleri tolere edebilen (örneğin, yoldaki buzlanmadan ötürü fren kapasitesindeki ani düşüş), daha kararlı ve aynı zamanda esnek (örneğin, kısa sürede veya daha uzun bir sürede durmayı seçmek) bir kontrol stratejisidir.

Oransal değişim kontrolünün ikinci avantajı şu şekilde açıklanabilir: Fren yapmadan, sabit hızla bir nesneye yaklaşıldığı durumda tau-dot'ın değeri -1.0 'de sabit kalır. Hiç fren yapılmadığında, bir noktada nesneye çarpmadan durmak için gerekli olan yavaşlama ivmesi, sahip olunan maksimum fren kapasitesini aşacak ve bu noktadan sonra maksimum fren uygulansa bile çarpışma kaçınılmaz olacaktır. Fren yapılmadığında tau-dot -1.0 'de sabit kaldığından, tau-dot çarpmadan durmak için fren yapmaya ne zaman başlanması gerektiği hakkında bilgi sağlamaz. Dolayısıyla, sabit tau-dot stratejisi kullanıldığında ne zaman fren yapmaya başlanacağını belirlemek için ikinci bir optik değişkene ihtiyaç vardır. İki optik değişkenin birden kullanılması gerekliliği sabit tau-dot stratejisinin etkinliğini azaltmaktadır. Benzer şekilde, frenin yeterince hızlı artırılmaması durumunda çarpmadan

durmak için gerekli olan -0.5 değerine, maksimum fren kapasitesi sınırları içinde ulaşmak mümkün olmayabilir. Tau-dot'ın aksine, oransal değişimin değeri fren yapmadan sabit hızla gidildiği durumda da değişir. Dolayısıyla, oransal değişim, ikinci bir optik değişkene gerek kalmadan fren yapmaya ne zaman başlanması ve frenleme esnasında hızın nasıl kontrol edilmesi gerektiği hakkında bilgi sağlar. Teorik olarak, oransal değişim belli bir değere ulaştığında frene başlamak ve freni oransal değişim o değerde sabit kalacak şekilde ayarlamak etkili bir kontrol stratejisidir.

Özetle, alanyazında yaklaşma hızının kontrolünde kullanılmak üzere önerilen üç olası kontrol stratejisi bulunmaktadır. Bu stratejilerin hepsi belli bir optik değişkenin değerini optik akıştan ölçmeye ve davranışı bu değerlere göre kontrol etmeye dayalıdır. Dürtüsel kontrol davranışı ortaya çıkaran esnek sabit tau stratejisinde, yaklaşma hızı tau belli bir kritik değerin altına düşmeyecek şekilde kontrol edilir. Kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkaran tam sabit tau stratejisinde ise yaklaşma hızı, tau belli bir değerde sabit kalacak şekilde ayarlanır. Sabit tau-dot stratejisi çarpmadan nesnenin tam önünde durmak için hızın tau-dot'ın değeri -0.5 'te sabit kalacak şekilde ayarlanması gerektiğini söyler. Son olarak, oransal değişim kontrolü yaklaşma hızının, oransal değişim belli bir değerde sabit kalacak şekilde kontrol edilmesi gerektiğini söyler. Sabit tau-dot stratejisi ve oransal değişim kontrolü kesintisiz kontrol davranışı ortaya çıkarır. Ancak, sabit tau-dot stratejisi ile karşılaştırıldığında oransal değişim kontrolü daha esnek ve kararlı bir kontrol stratejisidir ve farklı sürücü davranışlarının nasıl ortaya çıktığını da açıklayabilmektedir.

1.3. Yaklaşma hızının kontrolü: Alanyazındaki bulgular

Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejilerinin sistematik bir şekilde incelendiği alanyazındaki ilk ve en önemli çalışmalardan biri Yılmaz ve Warren'ın (1995) çalışmasıdır. Bu çalışmada, katılımcılar, bilgisayar ekranında simüle edilen üç boyutlu bir çevre içinde, belirli uzaklıklarda, trafik levhalarına benzeyen nesnelere görmüşlerdir. Katılımcılardan, bilgisayara bağlı bir fareyi fren gibi kullanarak levhalara çarpmadan durmaları istenmiştir. Her deneme levhalara sabit hızla yaklaşarak başlamış ve katılımcılar durduğunda sonlanmıştır. Her bir deneme için, deneme boyunca tau değerlerinin nasıl

değiştiğini gösteren tau zaman serisi hesaplanmış; ardından, tau zaman serisine en iyi uyum regresyon doğrusu elde edilmiş ve regresyon doğrusunun eğimi ilgili deneme için ortalama tau-dot değeri olarak alınmıştır. Yılmaz ve Warren'ın (1995) analizleri, yaklaşma boyunca tau-dot'ın genel ortalamasının -0.51 olduğunu göstermiştir. Bu bulgulara dayanarak Yılmaz ve Warren (1995) yaklaşma hızının sabit tau stratejisi kullanılarak kontrol edildiğini iddia etmiştir. Yukarıda da tartışıldığı üzere tau-dot çarpmadan durabilmek için fren yapmaya ne zaman başlanması gerektiği hakkında bilgi sağlamaz. Ancak, Yılmaz ve Warren (1995) katılımcıların fren yapmaya ne zaman ve nasıl başladıkları ile ilgili bir açıklama sunmamışlardır. Buna ek olarak, Yılmaz ve Warren'ın (1995) kullandıkları regresyon analizi her deneme için sadece ortalama tau-dot değeri verir. Tau-dot'ın -0.5 değerinde sabit tutulduğunu göstermez. Örneğin, tau-dot'ın denemelerin başında -0.70 civarında, denemelerin sonunda ise -0.30 civarında salındığını düşünelim. Bu durumda ortalama tau-dot değeri yine -0.5 çıkacaktır.

Sabit tau-dot stratejisinin karşılaştığı bu problemler araştırmacıları yeni optik değişkenler ve bu değişkenlere bağlı yeni kontrol stratejileri bulmaya yöneltmiştir. Anderson ve Bingham (2010) nesnelere yaklaşma hızının oransal değişim kontrolü kullanılarak ayarlanabileceğini önermiş ve "uzanmak üzere lokomasyon" (locomoting-to-reach) davranışını sergilerken insanların oransal değişim kontrolünü kullanıp kullanmadıklarını test etmek üzere bir çalışma yürütmüşlerdir (Anderson ve Bingham, 2011). Açmak üzere bir kapıya yönelmek, üzerinden bir şey almak için bir masaya doğru yürümek gibi örneklendirebileceğimiz "uzanmak üzere lokomasyon" davranışı, yaklaşma hızının kontrolünü gerektiren bir başka davranıştır. Anderson ve Bingham (2011), bu çalışmalarında katılımcılardan bir hedef noktaya koşmalarını ve başları hedef noktaya ulaştığında durmalarını istemişlerdir. Elde ettikleri verileri Yılmaz ve Warren'da (1995) kullanılan yöntem ile analiz ettiklerinde yaklaşma boyunca ortalama tau-dot değerlerinin, sabit tau-dot stratejisinin öngördüğü üzere, -0.50 civarında olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte, Anderson ve Bingham (2011), yaklaşma boyunca tau-dot'ın -0.50 'de sabit tutulup tutulmadığını test etmek için tau zaman serileri üzerinde iki-yarım analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu analizde, her bir denemeye ait tau zaman serisi iki eşit parçaya ayrılmış ve tau zaman serisinin iki yarısı için iki ayrı regresyon doğrusu elde edilmiştir. Regresyon

doğrularının eğimleri, denemenin birinci ve ikinci yarısına ait ortalama tau-dot değeri olarak alınmıştır. Denemelerin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama tau-dot değerleri karşılaştırıldığında aralarında anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar, tau-dot'ın yaklaşma boyunca sabit tutulmadığını ve değiştiğini; dolayısıyla, sabit tau-dot stratejisinin kullanılmadığını göstermiştir. Oransal değişim zaman serileri üzerinde gerçekleştirilen iki-yarım analizi ise yaklaşma boyunca oransal değişimin -0.20 civarında sabit olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu analizde, her bir denemeye ait oransal değişim zaman serisi önce iki eşit parçaya ayrılmış, ardından her yarıma ait ortalama oransal değişim değeri, ilgili yarıma ait tüm veri noktalarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Denemelerin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama oransal değişim değerleri karşılaştırıldığında aralarında anlamlı bir farkın olmadığı görülmüştür. Bu bulgu yaklaşma sırasında katılımcıların oransal değişim kontrolünü kullandığını göstermektedir.

Anderson ve Bingham'ın (2011) bulguları, bu çalışmanın da konusu olan “seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan durma” görevinin oransal değişim kontrolü kullanılarak gerçekleştirildiği hipotezini destekler niteliktedir. Kadıhasanoğlu ve ark.'nın (2021) bu hipotezi test etmek üzere yürüttükleri çalışmalarında katılımcılara, bilgisayar ekranında simüle edilen üç boyutlu bir çevrede trafik levhalarına benzer hedef nesnel gösterilmiştir. Katılımcılardan bilgisayara bağlı bir kumanda kolunu fren gibi kullanarak levhalara çarpmadan durmaları istenmiştir. Katılımcılar hızlarını sadece yavaşlayarak değiştirebilmişlerdir. Çalışmada hızlanmaya izin verilmemiştir. Çalışmada, ayrıca, lineer bir fren fonksiyonu kullanılmıştır. Katılımcıların kesintisiz frenleme davranışı sergiledikleri denemelere ait tau zaman serileri üzerinde yapılan iki-yarım analizleri, yavaşlama boyunca tau-dot'ın -0.50 'de sabit tutulmadığını göstermiştir. Oransal değişim zaman serileri üzerinde yapılan iki-yarım analizi ise katılımcıların oransal değişim belli bir değere ulaştığında fren yapmaya başladıklarını, sonrasında oransal değişim bu değerde sabit kalacak şekilde hızlarını azalttıklarını göstermiştir. Bir başka ifadeyle, katılımcılar, kesintisiz kontrol davranışını sergilerken oransal değişim kontrolü kullanmışlardır.

Kadıhasanoğlu ve ark.'nın (2021) çalışması, ayrıca, dürtüsel frenleme davranışının sistematik olarak incelendiği alanyazındaki bilinen ilk çalışmadır.

Çalışmanın bulguları dürtüsel frenleme davranışının esnek sabit tau stratejisi (Bingham, 1995) kullanılarak sergilendiğini göstermiştir. Katılımcılar, frene basma ve freni bırakma zamanlarını belirlemek için, 3.5 s ve 2.0 s olmak üzere iki ayrı kritik tau değeri kullanmışlardır. Katılımcılar denemelerin başında (nesnelere uzakta) hızlarını, tau 3.5 s'nin altına düşmeyecek şekilde ayarlarken, nesnelere yaklaştıkça hızlarını tau 2.0 s'nin altına düşmeyecek şekilde ayarlamaya başlamışlardır. Bir başka ifadeyle, denemelerin başında tau 3.5 s'ye yaklaştığında fren yapmaya başlarken, nesnelere yaklaştıkça tau 2.0 s'ye yaklaştığında fren yapmaya başlamışlardır.

Yukarıda da tartışıldığı üzere yaklaşma hızının kontrolü için kullanılan stratejiler optik değişkenler ile beraber fren sisteminin özellikleri gibi taşıt dinamiklerine de bağlıdır. Ancak, fren sistemi özelliklerinin davranış üzerindeki etkileri alanyazında göz ardı edilen bir konudur. Alanyazındaki çalışmalarda (bkz. Fajen 2005; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995) lineer fren fonksiyonları kullanılmıştır. Lineer olmayan bir fren fonksiyonu kullanarak, fren sistemi özelliklerinin kontrol stratejileri üzerindeki etkilerini inceleyen bilinen ilk çalışma Kadıhasanoğlu'nun (2022) çalışmasıdır. Alanyazındaki diğer çalışmalardan farklı olarak Kadıhasanoğlu'nda (2022) eğrisel (curvilinear) bir fren fonksiyonu kullanılmıştır. Böylece, kumanda kolu pozisyonundaki eşit birimlik değişimler, kumanda kolu nötr pozisyonundan geriye doğru çekildikçe, yavaşlama ivmesinde daha fazla değişime sebep olmuştur. Kumanda kolunun nötr pozisyonu etrafında fren daha az artarken, kumanda kolu geriye çekildikçe fren daha hızlı artmıştır. Çalışmanın sonuçları lineer olmayan fren fonksiyonun dürtüsel kontrol davranışını pekiştirdiğini ve kesintisiz kontrol davranışını engellediğini göstermiştir. Ancak, Kadıhasanoğlu'nda (2022) fren sisteminin davranış üzerindeki etkileri sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda incelenmiştir. Mevcut çalışmada, eğrisel bir fren fonksiyonu kullanılarak, fren sisteminin davranış üzerindeki etkileri yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda incelenmektedir. Hızlanmanın önemi şu şekilde açıklanabilir: Gereğinden fazla fren yapıldığı durumda optik değişkenlerin değeri hedeflenen değerden sapmaktadır. Hızlanma olmadığı zaman böyle bir durumda yapılabilecek tek şey pasif bir biçimde optik değişkenin değerinin tekrar hedeflenen değere gelmesini beklemektir. Hızlanma mümkün

olduğunda aktif bir biçimde hızlanarak optik değişkenin değeri hedeflenen değere getirebilir. Özetle, mevcut çalışmada fren sistemi özelliklerinin dürtüsel kontrol ve kesintisiz kontrol davranışları üzerindeki etkisi daha bütüncül bir biçimde ve ekolojik geçerliliği daha yüksek bir deneysel düzenekle incelenmektedir. Çalışmanın amacı ile uyumlu olarak, fren sistemi özelliklerinin ve hızlanmanın dürtüsel frenleme davranışı ve kesintisiz frenleme davranışı üzerindeki etkilerini inceleyen iki ayrı deney tasarlanmıştır.

2. Deney 1: Dürtüsel Kontrol Davranışı

Deney 1'in amacı, kumanda kolu çıktılarını fren ve gaz değerlerine çeviren fren/gaz fonksiyonunun lineer olmadığı durumda, levhalara yaklaşma hızının yavaşlama ile birlikte gerektiğinde hızlanarak da kontrol edildiği koşulda dürtüsel kontrol davranışının değişip değişmediğini araştırmak; eğer değişiyorsa hızlanmanın dürtüsel kontrol davranışı üzerindeki etkisini incelenmektedir.

2.1. Yöntem

2.1.1. Katılımcılar

Deney 1'de görme yetisi normal veya normale düzeltilmiş (gözlük veya kontakt lens kullanmak çalışmaya katılmaya engel değildir), yedisi kadın üçü erkek olmak üzere toplam 10 üniversite öğrencisinden veri toplanmıştır. Katılımcı sayısı alanyazındaki benzer çalışmalara bakılarak belirlenmiştir. Katılımcıların yaşları 19 ve 22 arasında değişmektedir ($Ort. = 20.4$, $S. = 0.84$) ve herhangi bir motor ve/veya nörolojik problemleri bulunmamaktadır (Özbildirim yolu ile belirlenmiştir.). Dokuz katılımcı baskın olarak sağ elini kullanırken bir katılımcı baskın olarak sol elini kullanmaktadır. On katılımcıdan dördünün ehliyeti yoktur ve daha önce hiç araba kullanmamışlardır (Yeterli sayıda alıştırma oturumları olduğu için daha önce hiç araba kullanmamış olmak çalışmaya katılmaya engel değildir.). Kalan altı katılımcının araba kullanma süreleri bir yıl ile iki yıl arasında değişmektedir. Deneyi tamamlayan 10 katılımcıya ek olarak, iki katılımcı deneyi tamamlamadan bırakmıştır.

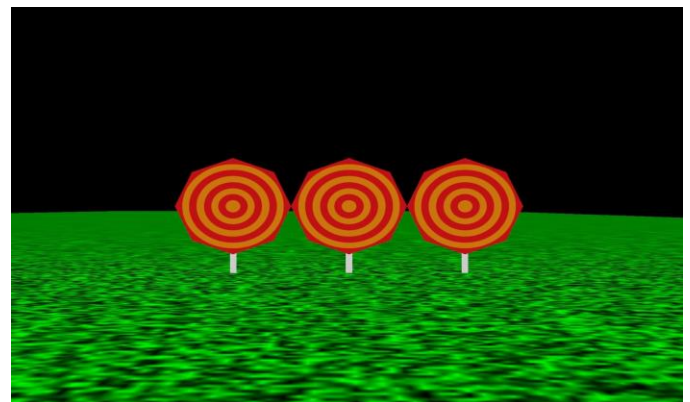
2.1.2. Deney oturumları

Katılımcıların deneysel düzeneğe ve deneyde kullanılmış olan fren ve gaz özelliklerine alışması için tüm katılımcılar Deney 1'in test oturumundan önce, üç alıştırma oturumu tamamlamıştır. Bir başka

ifade ile, tüm katılımcılar alıştırma oturumları ve test oturumu olmak üzere dört ayrı oturuma katılmıştır. Her oturum ayrı günlerde gerçekleştirilmiş ve ortalama 45 dakika sürmüştür.

2.1.3. Uyarıcılar ve işlem yolu

Katılımcılar, bilgisayar ekranında, simüle edilmiş üç boyutlu bir çevrede dokulu bir zemin düzlemi üzerinde belirli bir uzaklıkta ve yan yana konumlandırılmış trafik levhalarına benzeyen üç levha görmüşlerdir. (bkz. Şekil 2). Tüm levhaların hedef tahtasına benzer bir dokusu bulunmaktadır. Beş farklı başlangıç temas zamanı (*Başlangıç temas zamanı, denemelerin başında sahip olunan hız sabit tutularak (hiç hızlanmadan ve/veya fren yapmadan) levhalara yaklaşıldığında kaç saniye sonra levhalara çarpılacağı belirtilir:* 11.0 s, 12.0 s, 13.0 s, 14.0, s ve 15.0 s) beş farklı başlangıç mesafesi (90.0 birim, 105.0 birim, 120.0 birim, 135.0 birim ve 150.0 birim) ile çaprazlanarak 25 farklı deneme koşulu (6.0 ve 13.6 birim/s arasında değişen 23 farklı başlangıç hızı) elde edilmiştir. 25 deneme koşulunun 13 tanesi alıştırma oturumlarında kullanılmak üzere seçilmiştir. Seçilen 13 deneme koşulunun her biri 8 defa sunulmuş, böylece katılımcılar alıştırma oturumlarında $13 \times 8 = 96$ deneme tamamlamışlardır. Test oturumunda 25 deneme koşulunun her biri dört defa sunulmuş, ve katılımcılar $25 \times 4 = 100$ deneme tamamlamışlardır. Alıştırma ve test oturumlarında tüm denemeler seçkisiz olarak sunulmuştur. Katılımcıların optik değişkenler yerine levhaların büyüklüğüne bağlı bir strateji kullanmalarını engellemek için (örneğin, levhalar ekranın belli bir kısmını kapladığında fren yapmaya başlamak gibi) hem alıştırma oturumlarında hem de test oturumunda levhaların büyüklükleri (çapları) her denemede 0.6 ve 1.8 birim arasında seçkisiz olarak değiştirilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan görsel uyarıcı örneği (Deney kodu çalıştığı esnada ekran görüntüsü alınarak elde edilmiştir)

Katılımcılar, bir masa üzerine yerleştirilmiş bilgisayar ekranı önünde, yüksekliği ayarlanabilir bir sandalyeye oturmuşlardır. Sandalyenin pozisyonu ve yüksekliği, katılımcıların göz yüksekliği bilgisayar ekranının tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Katılımcılardan deney boyunca sırtları sandalyenin arkasına degecek şekilde oturmaları istenmiştir. Katılımcıların gözü ile bilgisayar ekranı arasındaki mesafe yaklaşık 70 cm’de tutulmuş ve deney binoküler görüş koşulunda yürütülmüştür.

Alanyazındaki benzer çalışmalarda (Fajen, 2005; Kadıhasanoğlu 2022; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995;) her deneme hedef nesnelere sabit hızla yaklaşarak başlamaktadır. Bulguların, alanyazında raporlanan bulgular ile karşılaştırılabilmesi için mevcut çalışmada da her deneme, lineer bir rota üzerinde levhalara sabit hızla yaklaşarak başlamıştır. Katılımcılardan bilgisayara bağlı bir kumanda kolunu (joystick) fren ve gaz gibi kullanarak levhalara çarpmadan mümkün olan en yakın mesafede durmaları istenmiştir. Kumanda kolu nötr pozisyondayken ivme 0’dır. Bu durumda, herhangi bir hızlanma veya yavaşlama olmadan levhalara sabit hızla yaklaşmıştır. Katılımcılar, yavaşlamak için kumanda kolunu nötr pozisyonundan geriye doğru çekmiş; hızlanmak için ise kumanda kolunu nötr pozisyonundan ileriye doğru itmişlerdir. Kumanda kolunun en gerideki pozisyonu maksimum yavaşlama ivmesi (fren) olan -2.1 birim/s²’ye; en ilerideki pozisyonu ise maksimum hızlanma ivmesi (gaz) olan 2.1 birim/s²’ye denk gelmektedir.

Kumanda kolunun çıktıları Formül 1’de verilen lineer olmayan bir fonksiyon kullanılarak ivmeye dönüştürülmüştür (*Kumanda kolu çıktılarını ivmeye dönüştüren fonksiyon lineer olduğunda kumanda kolu pozisyonundaki 1 birimlik değişimler ivmede 1 birimlik değişimlere denk gelir. Örnek vermek gerekirse, eğer maksimum ivme 2.0 birim/s² ise kumanda kolu pozisyonundaki 100 birimlik değişim ivmede her zaman 0.20 birimlik bir artış ya da azalış yaratır. Bu çalışmada kullanılan fonksiyon lineer olmayan bir fonksiyondur. Dolayısıyla kumanda kolu pozisyonundaki eşit birimlik değişimler ivmede eşit birimlik değişimler ortaya çıkarmaz. Formül 1’te verilen fonksiyon kullanıldığında kumanda kolunun nötr pozisyonu etrafında yapılan değişiklikler ivmeyi daha az değiştirir; kumanda kolu en ilerideki ve en gerideki pozisyonuna yaklaştıkça ivmedeki değişimler de artar.*). Katılımcılardan kumanda kolunu gerçekten araba kullanıyormuş gibi kontrol

etmeleri, kumanda kolu pozisyonunda ani ve büyük değişimler yapmamaları istenmiştir. Katılımcılar kumanda kolunu baskın elleri ile kontrol etmişlerdir.

$$yavaşlama/hızlanma ivmesi = \frac{20.0 \left(\frac{|x|}{1000.0} \right) - 1.0}{19.0} \quad (1)$$

x: kumanda kolu çıktısı

Her bir deneme hız 0.0 olduğunda sonlanmıştır. Bu nedenle, katılımcılardan, levhalara çarpsalar bile denemenin sonlanması için, tamamen durana kadar fren yapmaya devam etmeleri istenmiştir. Çarpışma levhaların içerisinden geçip gitmek şeklinde simüle edilmiştir. Katılımcılar, durdukları anda bilgisayar ekranında levhaların uzaklıklarını görmüşler; bunun dışında katılımcılara, levhalara ne kadar yakın durdukları ile ilgili ek bir geribildirim verilmemiştir. Denemeler arasında, siyah bir zemin üstünde beyaz renk ile “Başlamak için “b” tuşuna basın.” yazan bir denemeler-arası ekran gösterilmiştir. Katılımcılar baskın olmayan elleri ile “b” tuşuna basıp bir sonraki denemeyi başlatmışlardır. Tüm denemeler tamamlandığında deney otomatik olarak sonlanmıştır. Deneyin kodu C++ programlama dili ve OpenGL bilgisayar grafikleri için uygulama programı arabirimi kullanılarak yazarlar tarafından hazırlanmıştır. Araştırmada kullanılan uyarıcılar ve işlem yolu, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi İnsan Araştırmaları Değerlendirme Kurulu tarafından değerlendirilmiş ve etik kurul onayı alınmıştır. Deneyi tamamlayan on katılımcıya kendi istekleri doğrultusunda katılım ücreti ödenmiş veya ders kredisi verilmiştir.

2.2.4. Veri analizi

Denemelere ait ham veriler, ilgili denemenin her bir bilgisayar ekranı karesinde katılımcının levhalara olan uzaklığını gösteren zaman serilerinden oluşmaktadır. Her bir deneme için katılımcıların hız zaman serileri, ilgili denemenin uzaklık zaman serilerinin, ivme (fren/gaz) zaman serileri ise hız zaman serilerinin sayısal türevleri alınarak elde edilmiştir. Denemelere ait tau zaman serileri, ilgili denemenin mesafe zaman serisindeki mesafe değerleri, hız zaman serisindeki hız değerlerine bölünerek elde edilmiştir (bkz. Lee, 1976). Tau-dot zaman serileri ise Formül 2 kullanılarak hesaplanmıştır (bkz. Lee, 1976):

$$\tau - \dot{\tau} = -1.0 + \frac{\text{uzaklık} \times \text{ivme}}{\text{hız}^2} \quad (2)$$

Tau ve tau-dot zaman serileri elde edildikten sonra her denemeye ait oransal değişim zaman serileri,

ilgili denemeye ait tau-dot değerleri tau değerlerine bölünerek elde edilmiştir.

Görevi başarı ile tamamlamak için katılımcıların levhalara çarpmadan, levhalara çok yakın mesafede durması gerekmektedir. Bu sebeple, başarısız denemeler çarpışma ile sonuçlanan denemelerden ve levhalardan çok uzakta durulan denemelerden oluşmaktadır. Kadıhasanoğlu (2022) ve Kadıhasanoğlu ve ark. (2021) ile uyumlu olarak, katılımcı durduğunda levhalara olan uzaklığın 8.0 birimden küçük olduğu denemeler başarılı denemeler olarak sayılmış ve sadece başarılı denemelerden elde edilen veriler analizlere dahil edilmiştir.

Başarılı denemeler daha sonra dürtüsel kontrol davranışının sergilendiği denemeler ve kesintisiz kontrol davranışının sergilendiği denemeler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Tau değerleri, uzaklığın hızla bölümü ile elde edildiği için her başarılı denemenin sonunda, hızın sıfıra yaklaşmasıyla tau değerleri sonsuza ıraksar. Bu durum, tau zaman serilerinin sonunda bir adet yerel minimum oluşur. Dürtüsel kontrol davranışının ayırt edici özelliği olan yavaşlama/hızlanma ivmesindeki (fren/gaz) hızlı ve ani değişimler, tau zaman serilerinde, sondaki yerel minimuma ek olarak yeni yerel minimumlar oluşturur. Bu sebeple, dürtüsel kontrol davranışının sergilendiği denemeler tau zaman serilerinde en az iki yerel minimum bulunan denemelerden oluşmaktadır. Tau zaman serilerinde sadece bir yerel adet minimum bulunan denemeler ise kesintisiz kontrol denemeleri olarak kabul edilmiştir. Verilerin analizleri, yazar tarafından MATLAB ortamında yazılan bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir.

2.3. Bulgular ve tartışma

Tüm katılımcılara ait başarılı ve başarısız deneme sayıları Tablo 1’de verilmiştir. On katılımcıdan sekizinin başarılı deneme sayıları 85’in üzerindedir. İki katılımcının başarılı deneme sayıları 28 ve 18 olarak bulunmuştur. Başarılı deneme sayısı 18 olan katılımcı genel olarak deneyde başarısız sayılmış ve bu katılımcıdan elde edilen veriler veri analizine dahil edilmemiştir. Deneyi başarı ile tamamlayan dokuz katılımcıdan birinin kesintisiz kontrol denemelerinin sayısı dürtüsel kontrol denemelerinden daha fazladır. Bir diğer katılımcının ise eşit sayıda dürtüsel kontrol ve kesintisiz kontrol denemeleri vardır. Geriye kalan yedi katılımcının dürtüsel kontrol denemelerinin sayısı kesintisiz kontrol denemelerin sayısından çok daha fazladır. Başka bir deyişle, bu yedi katılımcı Deney 1’de ağırlıklı olarak dürtüsel kontrol

davranışını sergilemişlerdir. Tablo 1’de, ayrıca, her bir katılımcı için başarılı denemelerin kaç tanesinde hızlanma olduğu bilgisi de yer almaktadır. Deneyi başarı ile tamamlayan dokuz katılımcıya ait başarılı denemelerin %71’inde (toplam 762 başarılı denemenin 543 tanesinde) hızlanma görülmektedir. Bu bulgu, Deney 1’e ait verilerin hızlanmanın davranış üzerinde bir etkisi varsa bu etkiyi gözlemlemek için uygun olduğunu göstermektedir. Deney 1’in amacı fren/gaz fonksiyonunun lineer olmadığı durumda, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda dürtüsel kontrol davranışının hızlanmadan nasıl etkilendiğini incelemek olduğu için istatistiksel analizlere sadece dürtüsel kontrol davranışı sergilenen denemelerden elde edilen veriler dahil edilmiştir. Dürtüsel kontrol davranışının sergilendiği denemeler toplam başarılı denemelerin %82’sini (762 başarılı denemenin 623 tanesi) oluşturmaktadır.

Tablo 1. Katılımcıların Deney 1’deki başarılı ve başarısız deneme sayıları

Cinsiyet	Yaş	Başarısız denemeler			Başarılı denemeler			Hızlanma
		Çarpma	Uzakta durma	Toplam	Dürtüsel kontrol	Kesintisiz kontrol	Toplam	
K*	20	72	-	72	10	18	28	28
E	20	14	-	14	50	36	86	86
E	22	6	1	7	87	6	93	90
K	20	5	-	5	84	11	95	94
E	20	11	-	11	89	-	89	88
K	21	82	-	82	3	15	18	18
K*	19	10	-	10	66	24	90	21
K*	21	2	-	2	96	2	98	25
K	20	6	-	6	79	15	94	24
K*	21	11	-	11	62	27	89	87

Not. Daha önce hiç araba kullanmamış katılımcılar * ile işaretlenmiştir.

2.3.1. Durma mesafesi

Katılımcıların dürtüsel kontrol davranışı sergiledikleri denemelerdeki durma mesafeleri, başlangıç temas zamanının katılımcı-içi faktör olarak alındığı ve anlamlılık düzeyinin .05 olarak belirlendiği tekrarlı ölçümler için varyans analizi ile karşılaştırılmış ve başlangıç temas zamanının durma mesafesi üzerindeki temel etkisi anlamlı bulunmamıştır, $F(3.42, 349.28) = 2.12, p = 0.09$ (Küresellik varsayımındaki sapmadan dolayı sonuçlar Greenhouse-Geisser düzeltmesi ile rapor edilmiştir).

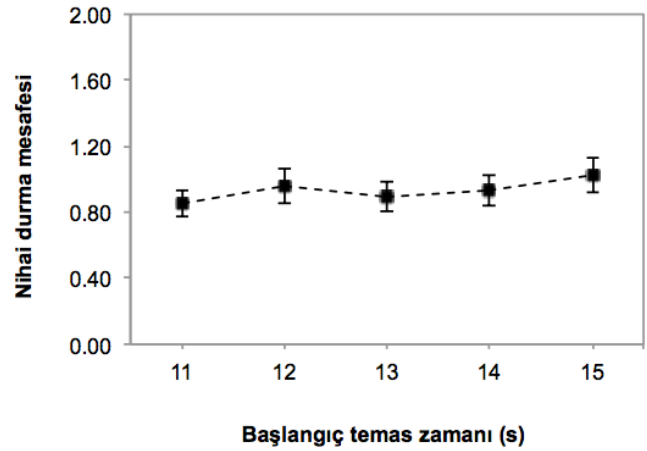
Her bir başlangıç temas zamanı için katılımcıların ortalama durma mesafeleri Şekil 3’te verilmiştir. Başlangıç temas zamanından bağımsız olarak katılımcıların ortalama durma mesafeleri 0.90 birim civarındadır (*Genel ort.* = 0.934, *SH* (standart hata) = .088). Başka bir deyişle, katılımcılar levhalara

oldukça yakın bir mesafede durmuşlardır ve durma mesafeleri başlangıç temas zamanından etkilenmemiştir.

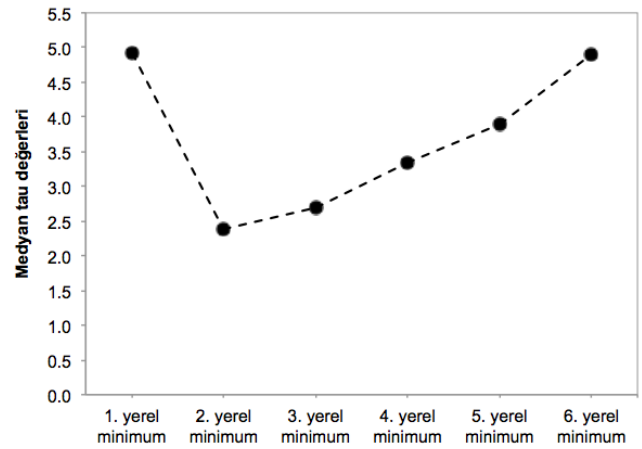
2.3.2. Dürtüsel kontrol davranışı

Kadıhasanoğlu (2022) sadece yavaşlamanın mümkün olduğu durumda, lineer olmayan bir fren fonksiyonu kullanıldığında dürtüsel kontrol davranışının esnek sabit tau stratejisi (Bingham, 1995) kullanılarak sergilendiğini göstermiştir. Katılımcılar hızlarını tau kritik bir değer altına düşmeyecek şekilde kontrol etmişlerdir. Bu kritik tau değerinin denemelerin başında 3.7 s, denemelerin sonunda ise yaklaşık 2.0 s olduğu rapor edilmiştir (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022). Lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda katılımcıların yine esnek sabit tau stratejisi kullanıp kullanmadıklarını test etmek için tau zaman serilerindeki yerel minimumlara denk gelen tau değerleri bulunmuştur. En yüksek yerel minimum sayısına sahip denemede dokuz yerel minimum bulunmaktadır. Bununla birlikte, toplam 762 dürtüsel kontrol denemesinin sadece 32 tanesinde yedi veya daha fazla yerel minimum bulunmaktadır. Bu sebeple analizlere ilk altı yerel minimuma denk gelen tau değerleri dahil edilmiştir.

İlk altı yerel minimuma denk gelen tau değerlerinin frekans dağılımları incelendiğinde altı frekans dağılımının da düşük tau değerlerine doğru çarpık olduğu gözlemlenmiştir. Çarpıklık (skewness) değerleri sırası ile 1.01, 2.24, 1.97, 0.93, 0.93, ve 3.21 olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple, yerel minimumlara denk gelen tau değerlerini en iyi özetleyen ölçüm olarak ortanca (medyan) raporlanmıştır. Şekil 4'ten görüldüğü üzere, birinci yerel minimuma denk gelen ortanca tau değeri yaklaşık 5.0 s iken ikinci yerel minimuma denk gelen ortanca tau değeri yaklaşık 2.5 s olarak bulunmuştur. Denemelerin sonuna doğru yerel minimumlara denk gelen ortanca tau değerleri lineer bir artış göstererek denemelerin en sonunda yine 5.0 s'ye yükselmiştir. Elde edilen bu kritik tau değerleri Kadıhasanoğlu'nda (2022) raporlanan 3.7 s ve 2.0 s değerlerinden yüksektir. Deneme sonuna doğru kritik tau değerlerinin arttığı ve denemenin en sonunda, denemenin en başında kullanılan kritik tau değerinin kullanıldığı bu dürtüsel kontrol davranışı daha önce alanyazında raporlanmamış ve ilk defa bu çalışmada gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Deney 1 için başlangıç temas zamanına göre ortalama durma mesafesi (Hata çubukları ± 1 standart hata değerini göstermektedir). Ortalama mesafeler dürtüsel kontrol denemelerindeki durma mesafeleri kullanılarak hesaplanmıştır



Şekil 4. Deney 1'in dürtüsel kontrol bölümündeki dürtüsel kontrol denemelerine ait tau zaman serilerindeki ilk altı yerel minimum için ortanca tau değerleri

Özetlemek gerekirse, lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında, sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşul ile karşılaştırıldığında (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022), hızlanmanın dürtüsel kontrol davranışı üzerinde üç temel etkisi olduğu gözlemlenmiştir. İlk olarak, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda yavaşlama/hızlanma ivmesindeki (fren/gaz) ani değişimlerin sayısı artmıştır. Bu artış, beraberinde tau zaman serilerindeki yerel minimum sayısını artırmıştır. Sadece yavaşlamanın mümkün olduğu durumda (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022) denemelerin büyük çoğunluğunda tau zaman serilerinde dört yerel minimum varken bu çalışmada tau zaman serilerindeki yerel minimum sayısı altı olarak bulunmuştur. İkinci olarak, davranışın kontrolünde kullanılan kritik tau değerlerinde yükselme gözlemlenmiştir. Yaklaşma hızının sadece yavaşlayarak kontrol edildiği koşulda kullanılan

kritik tau değerleri 3.7 s ve 2.0 s iken yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda kullanılan kritik tau değerleri 5.0 s ve 2.5 s arasında değişmiştir. Bir başka ifade ile, yaklaşma hızının sadece yavaşlayarak kontrol edildiği koşulda katılımcılar hızlarını levhalar ile temas zamanı 3.7 s ve 2.0 s'nin altına düşmeyecek şekilde ayarlamışlardır. Yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda ise her ne kadar yavaşlama/hızlanma ivmesindeki (fren/gaz) ani değişimlerin sayısı artsa da katılımcılar daha temkinli davranmışlar ve levhalara yaklaşırken hızlarını temas zamanı 2.5 s ve 5.0 s arasında kalacak şekilde ayarlamışlardır. Özellikle yaklaşmanın başında ve sonunda levhalar ile temas zamanının 5.0 s'nin altına düşmesine izin vermemişlerdir. Üçüncü olarak, Kadıhasanoğlu ve ark. (2021) ve Kadıhasanoğlu'nda (2022), yaklaşmanın ilk başında, yani levhalardan uzaktayken 3.7 s olan, sonra yaklaşık 2.0 s'de sabit kalan kritik tau değerleri bu çalışmada denemelerin sonlarına doğru lineer artış eğilimi göstermiştir. Sadece yavaşlamanın olduğu koşulda levhalara yaklaştıkça davranış değişmezken, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda levhalara yaklaştıkça davranış değişmiştir; katılımcılar, levhalara olan mesafe azaldıkça daha temkinli davranmışlar ve daha erken fren yapmaya başlamışlardır. Yukarıda da belirtildiği üzere böyle bir dürtüsel kontrol davranışı daha önce alanyazında raporlanmamıştır.

3. Deney 2: Kesintisiz Kontrol Davranışı

Kadıhasanoğlu (2022), levhalara yaklaşma hızının sadece yavaşlayarak kontrol edildiği koşulda lineer olmayan bir fren fonksiyonu kullanıldığında kesintisiz kontrol davranışının baskılandığını ve katılımcıların ağırlıklı olarak dürtüsel kontrol davranışı sergilediklerini bulmuştur. Bu çalışma kapsamında yürütülen Deney 2'nin amacı, lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında levhalara yaklaşılan yavaşlamaya ek olarak hızın da gerektiğinde artırılabilir olduğu koşulda kesintisiz kontrol davranışının sergilenip sergilenmediğini araştırmak; kesintisiz kontrol davranışı sergileniyorsa hızlanmanın kesintisiz kontrol davranışı üzerindeki etkisini incelemektir.

3.1. Yöntem

3.1.1. Katılımcılar

Deney 1'i tamamlayan 10 katılımcı Deney 2'ye de katılmış ve 10 katılımcının tümü Deney 2'yi

tamamlamışlardır. Deney 1 ve Deney 2'de aynı katılımcıların olması bireyler arası farkları kontrol etmek için önemlidir.

3.1.2. Deney oturumları

Tüm katılımcılar beş alıştırmaya oturumu ve bir test oturumu olmak üzere altı ayrı oturuma katılmışlardır. Her oturum ayrı günlerde gerçekleştirilmiş ve ortalama 45 dakika sürmüştür.

3.1.3. Uyarıcılar ve işlem yolu

Deney 2'de kullanılan görsel uyarıcılar ve işlem yolu temelde Deney 1'de kullanılanlar ile aynıdır. Ancak, Deney 1'den farklı olarak, Deney 2'nin alıştırmaya oturumlarında Kadıhasanoğlu ve ark. (2021) ve Kadıhasanoğlu'nda (2022) olduğu gibi ekran karartma uygulaması yapılmıştır. Dürtüsel kontrol davranışının ayırt edici özelliği kumanda kolu pozisyonundaki ani ve büyük değişimlerdir. Kumanda kolu pozisyonundaki ani ve büyük değişimleri engellemek ve bu sayede dürtüsel kontrol davranışını baskılamak için alıştırmaya oturumlarında her denemede kumanda kolu pozisyonu takip edilmiş ve iki ardışık bilgisayar karesine ait kumanda kolu pozisyonlarındaki değişim belli bir eşik değerinin (*Deneyde kullanılan eşik değeri ampirik olarak belirlenmiştir. Farklı eşik değerleri denemiş ve en uygun eşik değerinin 60 olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple, Deney 2'de kullanılan eşik değeri 60 olarak seçilmiştir. İki ardışık bilgisayar karesine ait kumanda kolu çıktıkları arasındaki fark 60'dan büyükse bilgisayar ekranı bir saniyeliğine karartılmıştır.*) üstünde ise ekran karartılmıştır. Ekran karartma uygulaması bir saniye sürmüş ve bu bir saniye boyunca katılımcılar levhalara yaklaşmaya devam etmişler; ancak, hızlarındaki ve mesafelerindeki değişimi gözlemleyememişlerdir. Katılımcılara, ekran karartma uygulamasını araba kullanırken gözlerini bir saniyeliğine kapatmak şeklinde düşünebilecekleri söylenmiş ve katılımcılardan, hızlarını ekranı karartmayacak şekilde değiştirmeleri istenmiştir. Deney 2'nin test oturumunda, davranışın kontrolünde kullanılan görsel bilginin kesintiye uğramaması için ekran karartma uygulaması yapılmamıştır.

3.2. Bulgular ve tartışma

Tüm katılımcıların Deney 2'deki başarılı ve başarısız deneme sayıları Tablo 2'de görülmektedir. On katılımcıdan altısının başarılı deneme sayıları 90'ın üzerindedir. Üç katılımcının başarılı deneme sayıları

70'in üzerindedir. Bir katılımcının ise başarılı deneme sayısı 47'dir. Toplam 854 başarılı denemenin 409 tanesinde (%48) hızlanma görülmüştür. Bu oran Deney 1'de gözlemlenen orandan (%71) düşük olsa da katılımcılar denemelerin neredeyse yarısında yavaşlamaya ek olarak hızlanmışlardır. Bu oranın hızlanmanın davranış üzerinde bir etkisi varsa bu etkiyi gözlemlen için yeterli olduğu düşünülmektedir. Deney 2'de hızlanılan deneme sayısı düşüren temel etkenin ise ekran karartma uygulaması sebebiyle katılımcıların kumanda kolu pozisyonundaki ani değişimlerden kaçınması olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2'de ayrıca 10 katılımcıya ait toplam 854 başarılı denemenin 568 tanesinde (%66) dürtüsel kontrol davranışı, 286 denemede ise kesintisiz kontrol davranışı sergilendiği görülmektedir. Her ne kadar bu oran Deney 1'de gözlemlenen orandan (%82) düşük olsa da Deney 2'de de katılımcılar denemelerin çoğunda dürtüsel kontrol davranışı sergilemişlerdir. Bu nedenle, kesintisiz kontrol denemelerinden elde edilen verilere ek olarak katılımcıların dürtüsel kontrol davranışı sergiledikleri denemelerden elde edilen veriler de analiz edilmiştir.

3.2.1. Durma mesafesi

Katılımcıların dürtüsel kontrol denemelerindeki durma mesafeleri başlangıç temas zamanının katılımcı-içi faktör olarak alındığı ve anlamlılık düzeyinin .05 olarak belirlendiği tekrarlı ölçümler için varyans analizi ile karşılaştırılmış ve başlangıç temas zamanının durma mesafesi üzerindeki temel etkisinin anlamlı olmadığı bulunmuştur, $F(3.50, 315.28) = 1.93$, $p = 0.114$ (Greenhouse-Geisser düzeltmesi ile rapor edilmiştir). Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, başlangıç temas zamanından bağımsız olarak katılımcıların ortalama durma mesafeleri 1.20 birim civarındadır ($Genel\ ort. = 1.197$, $SH = .061$). Her ne kadar bu değer Deney 1'de gözlemlenen 0.90 değerinden büyük olsa da katılımcılar, dürtüsel kontrol davranışı sergiledikleri denemelerde levhalara yakın mesafede durmuşlar ve durma mesafeleri başlangıç temas zamanından etkilenmemiştir.

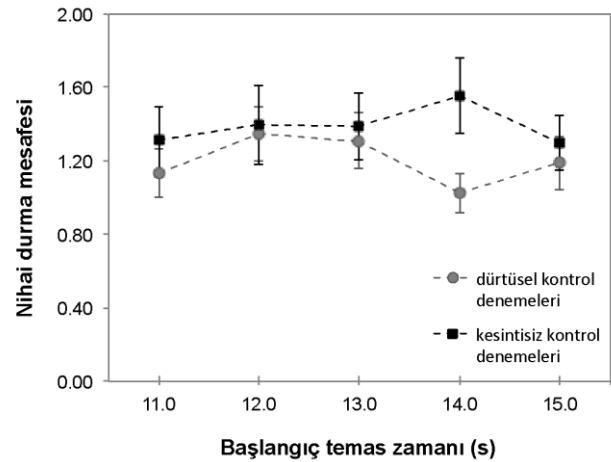
Katılımcıların kesintisiz kontrol davranışı sergiledikleri denemelere ait durma mesafeleri üzerinde gerçekleştirilen tekrarlı ölçümler için varyans analizi sonuçları başlangıç temas zamanının durma mesafeleri üzerindeki temel etkisinin anlamlı olmadığını göstermiştir, $F(2.84, 99.28) = 1.70$, $p = 0.176$ (Greenhouse-Geisser düzeltmesi ile rapor

edilmiştir). Başlangıç temas zamanından bağımsız olarak katılımcıların ortalama durma mesafeleri 1.40 birim (bkz. Şekil 5) civarındadır ($Genel\ ort. = 1.430$, $SH = .085$). Katılımcılar, kesintisiz kontrol denemelerinde dürtüsel kontrol denemelerine göre levhalardan biraz daha uzakta durmuşlardır. Yine de durma mesafeleri levhalara oldukça yakındır ve başlangıç temas zamanından etkilenmemiştir.

Tablo 2. Katılımcıların Deney 2'deki başarılı ve başarısız deneme sayıları

Cinsiyet	Yaş	Başarısız denemeler			Başarılı denemeler			
		Çarpma	Uzakta durma	Toplam	Dürtüsel kontrol	Kesintisiz kontrol	Toplam Hızlanma	
K*	20	48	5	53	12	35	47	47
E	20	8	5	13	40	47	87	35
E	22	8	-	8	80	12	92	39
K	20	4	2	6	78	16	94	89
E	20	26	-	26	59	15	74	63
K	21	8	-	8	46	46	92	24
K*	19	15	-	15	44	41	85	3
K*	21	8	-	8	73	19	92	8
K	20	3	-	3	85	12	97	18
K*	21	6	-	6	51	43	94	83

Not. Daha önce hiç araba kullanmamış katılımcılar * ile işaretlenmiştir.

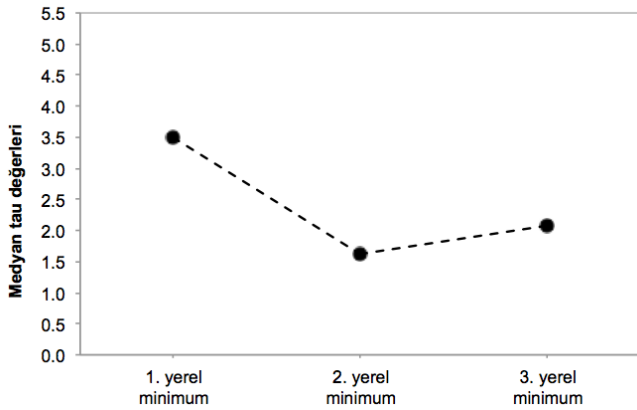


Şekil 5. Deney 2'deki dürtüsel kontrol ve kesintisiz kontrol denemeleri için başlangıç temas zamanına göre ortalama durma mesafesi. (Hata çubukları ± 1 standart hata değerini göstermektedir)

3.2.2. Dürtüsel kontrol davranışı

Her ne kadar Deney 2'nin amacı lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda sergilenen kesintisiz kontrol davranışını incelemek olsa da katılımcıların çoğu ağırlıklı olarak dürtüsel kontrol davranışı sergilediği için, önce kullanılan dürtüsel kontrol stratejisi incelenmiştir. Deney 1'de olduğu gibi dürtüsel kontrol denemelerine ait tau zaman serilerindeki yerel minimumlara denk gelen tau değerleri bulunmuştur. En fazla yerel minimuma sahip denemede beş yerel minimum bulunmaktadır. Bununla birlikte, toplam 568 dürtüsel kontrol

denemesinin sadece 11 tanesinde dört ve daha fazla yerel minimum vardır. Bu sebeple, analizlere sadece ilk üç yerel minimuma denk gelen tau değerleri dahil edilmiştir. Bu tau değerlerinin frekans dağılımlarının, Deney 1’de olduğu gibi düşük tau değerlerine doğru çarpık olduğu gözlemlenmiştir (Çarpıklık değerleri sırası ile 1.32, 2.20 ve 3.32 olarak hesaplanmıştır). Dolayısıyla, yerel minimumlara denk gelen tau değerlerini en iyi özetleyen ölçüm olarak yine ortanca raporlanmıştır. Şekil 6’da görüldüğü üzere, birinci yerel minimuma denk gelen ortanca tau değeri yaklaşık 3.5 s’dir. İkinci ve üçüncü yerel minimuma denk gelen ortanca tau değerleri ise yaklaşık olarak 1.5 s ve 2.0 s’dir. Bu değerler Kadıhasanoğlu’nda (2022) gözlenen değerlere (3.7 s ve 2.0 s) çok yakındır.



Şekil 6. Deney 2'nin dürtüsel kontrol denemelerine ait tau zaman serilerindeki ilk üç yerel minimum için ortanca tau değerleri

Deney 2’de dürtüsel kontrol davranışını baskılamak mümkün olmasa da Deney 2’de gözlemlenen dürtüsel kontrol davranışı ile Deney 1’de gözlemlenen dürtüsel kontrol davranışı arasında iki temel fark bulunmaktadır. Deney 1’deki dürtüsel kontrol denemelerine ait tau zaman serilerinde yerel minimum sayısı altı iken Deney 2’de tau zaman serilerindeki yerel minimum sayısı üç olarak bulunmuştur. Bir başka deyişle, katılımcıların fren/gazdaki ani değişimlerin sayısı azalmıştır. Buna ek olarak, katılımcıların kullandıkları kritik tau değerleri de düşmüştür. Deney 1’de kullanılan kritik tau değerleri 2.5 ve 5.0 arasında değişirken, Deney 2’de kullanılan tau değerleri 1.5 ve 3.0 arasında değişmektedir. Deney 2’nin alıştırma oturumları dürtüsel kontrol davranışını baskılayarak kesintisiz kontrol davranışının sergilenmesini sağlayamasa da katılımcıların kullandıkları dürtüsel kontrol stratejisini değiştirmiştir. Katılımcılar, deneyim kazandıkça fren ve gazdaki ani değişimlerden kaçınmışlardır. Ayrıca, Deney 1’de levhalara

yaklaşırken daha tedbirli davranıp temas zamanının 2.5 s’nin altına düşmesine izin vermemişlerdir. Ancak, Deney 2’de temas zamanı 1.5 s’nin altına düşmeyecek şekilde levhalara yaklaşmışlardır.

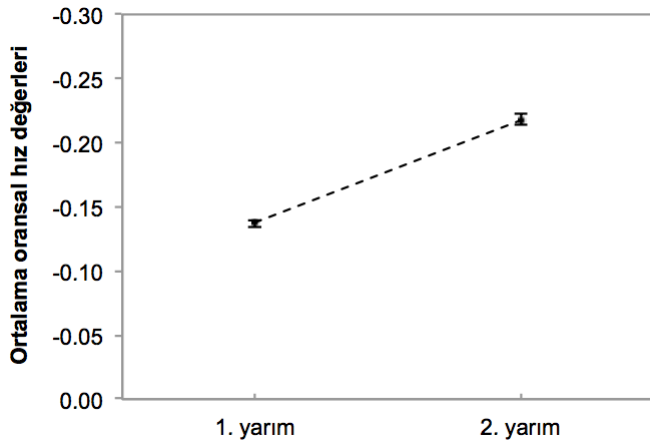
3.2.3. Kesintisiz kontrol davranışı

Alanyazındaki güncel çalışmalar (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021) kesintisiz kontrol davranışının altında yatan kontrol stratejisinin oransal değişim kontrolü olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte alanyazındaki tüm çalışmalarda, kesintisiz kontrol davranışı sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda incelenmiştir. Fren fonksiyonunun lineer olmadığı ve yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda sergilenen kesintisiz kontrol davranışını incelemek için kesintisiz kontrol denemelerinden elde edilen veriler de analiz edilmiştir.

Deney 2’nin kesintisiz kontrol denemelerinde oransal değişim değişkeninin sabit tutulup tutulmadığını belirlemek için kesintisiz kontrol denemelerine ait oransal değişim zaman serileri üzerinde iki-yarım analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme için, önce ilgili denemenin ivme (fren/gaz) zaman serisine bakılarak, o denemede hızın katılımcı tarafından aktif olarak değiştirildiği ilk ve son ana denk gelen zaman noktaları belirlenmiştir. Daha sonra, bu zaman noktaları kullanılarak oransal değişim zaman serilerinin, hızın aktif olarak değiştirildiği zaman aralığına denk gelen kısımları analiz edilmek üzere seçilmiştir. Oransal değişim zaman serilerinin seçilen kısımları medyan örneklem noktası kullanılarak iki eşit kısma bölünmüş ve her bir yarım için ortalama oransal değişim değerleri hesaplanmıştır. Denemelerin ilk ve ikinci yarısına ait olan ortalama oransal değişim değerlerinin genel ortalaması sırası ile -0.137 ($SH = 0.003$) ve -0.218 ($SH = 0.004$) olarak bulunmuştur (bkz. Şekil 7). Denemelerin ilk ve ikinci yarısına ait olan ortalama oransal değişim değerleri ilişkili ölçümler için t testi ile karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı bir farkın olduğu gözlemlenmiştir, $t(286) = 17.122$, $p < .001$. Bu bulgu, katılımcıların kesintisiz kontrol denemelerinde nesnelere yaklaşırken oransal değişim değişkenini sabit tutmadığını göstermektedir.

Daha önceden de belirtildiği gibi oransal değişim kontrolü, sabit tutulduğunda çarpmadan durmayı sağlayacak bir değerler aralığı sunmaktadır. Oransal değişim değerleri bu aralıkta seyrettiği sürece sabit tutulmak zorunda değildir. Deney 2’de gözlemlenen oransal değişim değerleri (-0.137 ve -0.218)

Kadıhasanoğlu'nda (2022) raporlanan değerler ile (-0.131 ve -0.213) neredeyse aynıdır. Başka bir deyişle, lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda elde edilen oransal değişim değerleri, sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda elde edilen oransal değişim değerleriyle neredeyse aynıdır. Bu bulgu, lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında hızlanmanın kesintisiz kontrol davranışı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını, başka bir ifadeyle, kesintisiz kontrol davranışını değiştirmediğini göstermektedir.



Şekil 7. Deney 2'deki kesintisiz kontrol denemelerinin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama oransal değişim değerleri (Hata çubukları ± 1 standart hata değerini göstermektedir)

4. Genel Tartışma

Trafik kazalarına ait istatistikler incelendiğinde, kazaların büyük bir çoğunluğunun sürücü kusurları sebebi ile meydana geldiği ve kazalara yol açan birincil sürücü kusurunun araç hızının, trafik ortamının gerektirdiği şartlara uygun olarak ayarlanamaması olduğu görülmektedir (Trafik Kazaları Dairesi Başkanlığı, 2023). Araç hızını kontrol etmenin sürücüler için temelde algısal-motor bir görev olduğu düşünüldüğünde, sürücülerin bu görevi nasıl gerçekleştirdiğini anlamak, trafik kazalarını anlamının ve trafik güvenliğini artıracak stratejiler geliştirebilmenin önemli bir koşuludur.

Kırmızı ışıkta önümüzde duran araca çarpmamak, yol üzerindeki bir engele çarpmadan durabilmek gibi trafiğin olağan akışında sürekli karşılaşılan durumlar yaklaşma hızının doğru bir şekilde kontrol edilmesi ile mümkündür. Algı/eyleme bilgi temelli yaklaşım çerçevesinde ele alındığında yaklaşma hızının sürücüler tarafından nasıl kontrol edildiğini anlamak, yaklaşma hızının hangi optik değişken ve kontrol stratejisi kullanılarak kontrol edildiğini araştırmayı

gerektirir. Bu çalışmada, araba kullanmaya benzer “yüksek hızla seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan durma” görevi bağlamında yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejileri incelenmiştir. Alanyazında yürütülen daha önceki çalışmalar genellikle kesintisiz kontrol davranışına odaklanmıştır. Bunun temelinde, dürtüsel kontrol davranışının belli bir optik değişken ve kontrol stratejisi kullanılmadan ortaya çıktığı fikri yatmaktadır. Oysaki kesintisiz kontrol davranışı ile birlikte dürtüsel kontrol davranışının da incelendiği en güncel çalışmalar (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021) dürtüsel kontrol davranışının tau optik değişkeni kullanılarak sergilendiğini desteklemektedir.

Bu çalışmaya kadar alanyazında yürütülen bilinen tüm çalışmaların bulguları birlikte değerlendirildiğinde “seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan durma” görevi bağlamında yaklaşma hızının görsel kontrolü hakkında bildiklerimiz şu şekilde özetlenebilir: Yaklaşma hızının kontrolünün, bu görev ile incelendiği ilk çalışmalardan biri olan Yılmaz ve Warren'ın (1995) çalışmasında, sadece kesintisiz kontrol davranışı incelenmiş ve yaklaşma esnasında ortalama tau-dot değerinin -0.51 olduğu bulunmuştur. Bu bulgudan hareketle, Yılmaz ve Warren (1995) kesintisiz kontrol davranışı sergilenirken yaklaşma hızının sabit tau-dot stratejisi kullanılarak kontrol edildiğini savunmuştur. Her ne kadar Yılmaz ve Warren'ın (1995) bulguları sabit tau-dot stratejisini destekler nitelikte görünse de tau-dot optik değişkeninin fren yapmaya ne zaman başlanması gerektiği hakkında bir bilgi sağlamaması ve çarpmadan başarı ile durmayı sağlayacak tek bir değer (-0.50) sunması gibi kısıtlılıklar sabit tau-dot stratejisinin etkinliğinin sorgulanmasına yol açmıştır. Nitekim, Kadıhasanoğlu ve ark.'nın (2021) kesintisiz kontrol davranışını yeniden inceledikleri çalışmanın bulguları yaklaşma esnasında tau-dot'ın -0.50 'de sabit tutulmadığını; buna karşın, oransal değişim değişkeninin değerinin sabit kaldığını göstermiştir.

Hem Yılmaz ve Warren'ın (1995), hem de Kadıhasanoğlu ve ark.'nın (2021) çalışmasında yaklaşma hızının görsel kontrolü, sadece yavaşlamanın mümkün olduğu ve fren fonksiyonunun lineer olduğu koşulda incelenmiştir. Lineer olmayan, eğrisel bir fren fonksiyonu kullanılarak fren sistemi özelliklerinin davranış üzerindeki etkilerinin incelendiği alanyazındaki ilk

çalışmalardan biri Kadıhasanoğlu'nun (2022) çalışmasıdır. Kadıhasanoğlu'nun (2022) bulguları lineer olmayan bir fren fonksiyonunun kesintisiz kontrol davranışını baskılayarak dürtüsel kontrol davranışını pekiştirdiğini; ancak dürtüsel kontrol davranışı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Bu bilgilerin ışığında, mevcut çalışmada yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu ve fren sistemin lineer olmadığı koşulda dürtüsel kontrol ve kesintisiz kontrol davranışları incelenmiş; bu sayede, fren fonksiyonu ve hızlanmanın yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejileri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Mevcut çalışma, hızlanmanın yaklaşma hızının kontrolünü nasıl etkilediğini inceleyen alanyazındaki bilinen ilk çalışmadır.

Dürtüsel kontrol davranışının incelendiği Deney 1'in bulguları, hızlanmanın dürtüsel kontrol davranışını değiştirdiğini göstermiştir. Dürtüsel kontrol davranışının iki önemli özelliği fren ve gazdaki ani değişimlerin sayısı ve kullanılan kritik tau değerleridir. Sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşul ile karşılaştırıldığında (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022) hızlanma, hem fren ve gazdaki ani değişimlerin sayısını artırmış hem de kullanılan kritik tau değerlerini yükseltmiştir. Kritik tau değerlerinin daha yüksek olması, katılımcıların fren yapmaya daha erken başladıklarını göstermektedir. Fren ve gazdaki ani değişimlerin sayısındaki artış katılımcıların daha dürtüsel davrandıklarına işaret ederken, genel olarak daha erken fren yapmaya başlamaları bir yandan da daha temkinli davrandıklarını göstermektedir. Bu değişimlere ek olarak, sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda levhalara olan mesafeden etkilenmeyen ve yaklaşık 2.0'de sabit kalan kritik tau değerleri, hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda levhalara yaklaştıkça lineer artış eğilimi göstermiştir. Bu bulgu, katılımcıların, levhalara yaklaştıkça daha temkinli davrandıklarını ve daha erken fren yapmaya başladıklarını göstermektedir. Böyle bir dürtüsel kontrol davranışı daha önce alanyazında raporlanmamıştır. Bu bağlamda, mevcut çalışmanın bulguları dürtüsel kontrol davranışının aslında düşünülen daha karmaşık olduğuna ve koşullara göre çeşitlilik gösterebileceğine işaret etmektedir.

Deney 2'nin amacı fren/gaz fonksiyonunun lineer olmadığı durumda, hızlanmanın kesintisiz kontrol davranışı üzerindeki etkilerini incelemek olsa da katılımcıların Deney 2'de ağırlıklı olarak dürtüsel kontrol davranışı sergilediği görülmüştür. Bu bulgu, benzer bir durumun gözlemlendiği

Kadıhasanoğlu'nun (2022) bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde kesintisiz kontrol davranışını baskılayan ana faktörün fren/gaz fonksiyonu olduğuna işaret etmektedir. Her ne kadar Deney 1 ve Deney 2'de ağırlıklı olarak dürtüsel kontrol davranışı gözlemlense de Deney 2'de gözlemlenen dürtüsel kontrol davranışının, Deney 1'de sergilenenden farklı olduğu ve Kadıhasanoğlu'nda (2022) raporlanan dürtüsel kontrol davranışına benzediği görülmüştür. Deney 2'nin alıştırma oturumları, deneyim kazanan katılımcıların gaz ve frendeki ani değişimlerinin sayısını azaltmış ve kullandıkları kritik tau değerlerini (3.5 s ve 1.5 s) düşürerek Kadıhasanoğlu'nda (2022) raporlanan değerlere (3.7 s ve 2.0 s) yaklaştırmıştır. Katılımcılar Deney 2'de deneyim kazandıkça temkinli davranmayı bırakıp daha geç fren yapmaya başlamışlardır.

Deney 2'de kesintisiz kontrol davranışının sergilendiği denemelere ait veriler incelendiğinde katılımcıların, hızlarını oransal değişim değişkeninin değeri -0.137 ve -0.218 arasında kalacak şekilde kontrol ettikleri görülmüştür. Bu değerler Kadıhasanoğlu'nda (2022) elde edilen değerlere (-0.131 ve -0.213) çok yakındır. Bu bulgu, lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonu kullanıldığında, yavaşlama ve hızlanmanın mümkün olduğu koşulda sergilenen kesintisiz kontrol davranışının, sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda sergilenen kesintisiz kontrol davranışı ile aynı olduğunu; hızlanmanın kesintisiz kontrol davranışını etkilemediğini göstermektedir.

Kadıhasanoğlu'nun (2022) bulguları ile uyumlu olarak, bu çalışmanın bulguları da lineer olmayan bir fren/gaz fonksiyonunun kesintisiz kontrol davranışını baskılayarak dürtüsel kontrol davranışını pekiştirdiği hipotezini destekler niteliktedir. Buna ek olarak, mevcut çalışmada hızlanmanın dürtüsel kontrol davranışını değiştirdiği bulunmuştur. Ancak, katılımcılar daha fazla pratik yapıp deneyim kazandıkça hem ani hareketlerin sayısında hem de kullanılan kritik tau değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bir başka ifadeyle, yavaşlama ile birlikte hızlanmanın da mümkün olduğu koşulda sergilenen dürtüsel kontrol davranışı, katılımcılar deneyim kazandıkça sadece yavaşlamanın mümkün olduğu koşulda sergilenen dürtüsel kontrol davranışına (bkz. Kadıhasanoğlu, 2022) dönüşmüştür.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler alanyazındaki diğer çalışmaların verileriyle birlikte

değerlendirildiğinde görsel bilginin, taşıt dinamiklerinin, hızlanmanın ve pratiğin sürücü davranışı üzerindeki olası etkilerine işaret etmektedir. Alanyazındaki diğer çalışmalar ile uyumlu olarak (örn. Kadıhasanoğlu, 2022; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021) mevcut çalışmanın bulguları farklı davranışların farklı optik değişkenler ve bu değişkenlere bağlı farklı kontrol stratejileri kullanılarak gerçekleştirildiği hipotezini desteklemektedir. Dürtüsel kontrol davranışı sabit tau stratejisi kullanılarak sergilenirken, kesintisiz kontrol davranışının altında oransal değişim kontrolü yatmaktadır. Buna ek olarak, trafikte riskli davranış sergileyen sürücülerin bu stratejiler içinde kullandıkları kritik tau ve oransal değişim değerleri, güvenli sürüş sergilenen sürücülerin kullandığı değerlerden farklı olabilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde mevcut çalışmanın bulguları, sürücülük becerilerinin objektif bir şekilde ölçülmesinde kullanılabilir, öz bildirime dayanmayan, örtük ölçümlerin geliştirilmesinde faydalı olabilir.

Alanyazındaki diğer çalışmalardan farklı olarak, mevcut çalışmanın bulguları dürtüsel kontrol davranışının düşünülenden daha karmaşık olduğunu göstermektedir. Dürtüsel kontrol davranışı özellikle araba kullanmaya yeni başlamış, acemi sürücüler tarafından sergilenen bir davranıştır (Yılmaz ve Warren, 1995). Sürücüler, deneyim kazandıkça dürtüsel kontrol davranışından kesintisiz kontrol davranışına geçerler (Yılmaz ve Warren, 1995). Mevcut çalışmanın bulguları, bu geçişin sadece deneyime bağlı olmadığını, fren sistemi gibi taşıt dinamiklerinin de geçişte etkisi olduğunu göstermektedir. Alanyazında dürtüsel kontrol davranışı üzerine yürütülen daha az sayıda çalışma olduğu düşünüldüğünde gelecekte yürütülecek çalışmalarda dürtüsel kontrol davranışının sürücü özellikleri, çevre koşullarına ve taşıt dinamiklerine bağlı olarak nasıl değiştiğinin incelenmesi önerilmektedir.

Mevcut çalışmanın bulguları alanyazındaki diğer çalışmaların bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde fren fonksiyonu, hızlanma gibi faktörlerin kesintisiz kontrol davranışından ziyade dürtüsel kontrol davranışını etkilediği görülmektedir. Dürtüsel kontrol stratejisinin özellikle deneyimsiz sürücüler tarafından sergilendiği düşünüldüğünde bu bulgular sürücü eğitimlerinin önemine işaret etmektedir. Sürücü adaylarının eğitiminde sürüş becerilerinin farklı koşullar altında test edilmesinin

ve eğitim sürelerinin koşullara göre belirlenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, dürtüsel kontrol davranışından kesintisiz kontrol davranışına geçişin nasıl gerçekleştiğine odaklanan çalışmalar yürütülerek bu geçişi kolaylaştıran veya zorlaştıran faktörlerin sistematik bir şekilde belirlenmesi önerilmektedir. Dürtüsel kontrol davranışının kesintisiz kontrol davranışına göre etkilere daha açık olduğu düşünüldüğünde dürtüsel kontrol davranışının sistematik bir şekilde araştırılmasının sürücü hatası kaynaklı trafik kazalarını anlamak, bu sayede trafik güvenliğini artıracak stratejiler geliştirebilmek için önemli öngörüler sunacağı düşünülmektedir.

2022 yılında Türkiye’de gerçekleşen trafik kazalarının büyük çoğunluğunun sürücü kusurları sebebiyle meydana geldiği; sürücü kusurları sebebiyle meydana gelen her üç kazadan birinin araç hızının yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara göre ayarlanamaması sebebiyle gerçekleştiği düşünüldüğünde (Trafik Kazaları Dairesi Başkanlığı, 2023), araba kullanmaya benzer bir görev ile yaklaşma hızının kontrolü üzerine yürütülen çalışmaların trafik güvenliği, halk sağlığı ve ekonomi açısından da önemli olduğu düşünülmektedir. Araç hızı doğru ayarlanamadığı için çarpma ile sonuçlanan trafik kazaları ölüm ve yaralanmalara yol açabilmekte, araç hasarı kaynaklı maddi yükümlülükleri (örneğin, araç hasarının onarılması, sigorta giderleri, araç transfer giderleri, araç olmadığı süreçte ulaşımdaki aksamalar) beraberinde getirmektedir (Bougna, Hundal ve Taniform, 2022). Bu nedenle, yüksek hızla seyir halindeyken yoldaki bir engele, örneğin öndeki araca, sabit bir nesneye veya yayaya, çarpmadan durma stratejilerini araştıran çalışmaların yürütülmesi ve bu araştırmalardan elde edilecek bulguların sürücülerin becerilerini geliştirme yönünde kullanılması ölümlü ve yaralanmalı kazaları azaltacak yeni önlemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Benzer şekilde, bu araştırmaların yürütülmesinin trafik kazaları kaynaklı maddi kayıpların azaltılması açısından da önemli olduğu düşünülmektedir.

Mevcut çalışmada hızlanma mümkün olsa da çalışmanın bulgularını alanyazındaki bulgular ile karşılaştırabilmek için deneylerdeki her deneme levhalara sabit hızla yaklaşarak başlamıştır. Dolayısıyla, hızlanma tamamen katılımcının kontrolünde değildir. Çalışmanın ekolojik geçerliliğini daha da artırmak için yaklaşma hızındaki değişimin tamamen katılımcıların kontrolünde

olduğu koşulda davranışı incelemek önemlidir. Bu bağlamda, her denemenin levhalardan belirli bir uzaklıkta durarak başladığı deneyler ile yaklaşma hızının kontrolünü incelediğimiz çalışmalarımıza devam etmekteyiz. Son olarak, karanlık, sis, yoğun yağış gibi durumlar görüş mesafesini azaltarak optik akış ölçümlerini güçleştirmektedir. Bu gibi durumlarda optik değişkenlerin değerlerinin yanlış ölçülmesi, ilgili kontrol stratejinin etkin bir şekilde kullanılmasını engelleyerek sürücü hatalarına ve/veya kazalara yol açabilir. Karanlık, sis, yoğun yağış gibi çevresel koşulların optik değişkenler ve kontrol stratejileri üzerindeki etkileri alanyazında araştırılmamış bir konudur. Gelecekte bu konulara odaklanan çalışmaların yürütülmesi önerilmektedir.

Etik Kurul Onay Beyanı

Bu çalışmanın verileri TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi İnsan Araştırmaları Değerlendirme Kurulu'nun 04.06.2015 tarihli toplantısında verilen etik onay raporuna binaen toplanmıştır.

Kaynakça

- Anderson, J. ve Bingham, G. P. (2010). A solution to the online guidance problem for targeted reaches: Proportional rate control using relative disparity- τ . *Experimental Brain Research*, 205, 291–306. doi:10.1007/s00221-010-2361-9
- Anderson, J. ve Bingham, G. P. (2011). Locomoting-to-reach: Information variables and control strategies for nested actions. *Experimental Brain Research*, 214(4), 631–644. doi:10.1007/s00221-011-2865-y
- Bingham, G. P. (1995). The role of perception in timing: Feedback control in motor programming and task dynamics. E. Covey, H. Hawkins, T. McMullen ve R. Port (Ed.) *Neural Representation of Temporal Patterns* içinde (ss. 129–157). New York: Plenum Press.
- Bougna, T., Hundal, G. ve Taniform, P. (2022). Quantitative analysis of the social costs of road traffic crashes literature. *Accident Analysis & Prevention*, 165. doi:10.1016/j.aap.2021.106282
- Fajen, B. R. (2005). The scaling of information to action in visually guided braking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(5), 1107–1123. doi:10.1037/0096-1523.31.5.1107

- Fath, A., Marks, B., ve Bingham, G. (2013). Response to perturbation in constant tau-dot versus constant proportional rate models of visually guided braking. *Journal of Vision*, 13(9), 747-747. doi:10.1167/13.9.747
- Gibson, J. J. (1958). Visually controlled locomotion and visual orientation in animals. *British Journal of Psychology*, 49(3), 182-194. doi:10.1111/j.2044-8295.1958.tb00656.x
- Gibson, J.J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (Özgün eser 1979 yılında basılmıştır).
- Kadıhasanoğlu, D. (2022). Yaklaşma hızının görsel kontrolü: Optik değişkenler, kontrol stratejileri ve taşıt dinamiklerinin etkisi. *Türk Psikoloji Dergisi*, 38(89), 1-16. doi:10.31828/tpd1300443320191125m000037
- Kadıhasanoğlu, D., Beer, R. D., Bingham, N., ve Bingham, G. P. (2021). Control of visually guided braking using constant- τ and proportional rate. *Experimental Brain Research*, 239(1), 217-235. doi:10.1007/s00221-020-05956-y
- Lee, D. N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 43-459. doi:10.1068/p050437
- Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı (2023). Trafik kazaları özeti, 2022. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2022.pdf> adresinden alındı. Erişim tarihi: 03.07.2023
- Yılmaz, E. H. ve Warren, W. H. (1995). Visual control of braking: A test of the $\dot{\tau}$ hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 996-1014. doi:10.1037//0096-1523.21.5.996