

# Yaklaşma Hızının Görsel Kontrolü: Optik Değişkenler, Kontrol Stratejileri ve Taşıt Dinamiklerinin Etkisi

Didem Kadıhasanoğlu<sup>1</sup>

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

## Özet

Bu çalışmada, “seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan durma” görevi bağlamında, frenleme sistemi gibi taşıt dinamiklerinin yaklaşma hızının görsel kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu görev ile karşılaştıklarında insanlar, dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme olmak üzere iki davranış sergilerler. Bu çalışmanın amacı, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme davranışlarının altında yatan optik değişkenler ve kontrol stratejilerini nasıl değiştirdiğini araştırmaktır. Deney 1’in bulguları, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında dürtüsel frenleme davranışının esnek sabit tau stratejisi kullanılarak gerçekleştirildiğini göstermektedir. Tau optik değişkeni belli bir kritik değere yaklaştığında frene basılmıştır. Engelden uzaktayken kullanılan kritik tau değeri 3.7 s iken engele yakınken kullanılan kritik tau değeri 2 s olarak bulunmuştur. Kesintisiz frenleme davranışını incelemek üzere tasarlanan Deney 2’nin bulguları, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında katılımcıların ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilediğini göstermiştir. Bir başka deyişle, dürtüsel frenleme davranışını baskılamak mümkün olmamıştır. Deney 2’de, dürtüsel frenleme davranışı yine esnek sabit tau stratejisi kullanılarak sergilenmiştir. Engelden uzaktayken kullanılan kritik tau değeri 3 s iken, engele yakınken kullanılan kritik tau değeri 1.5 s olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, lineer olmayan frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme davranışını pekiştirdiği ve kesintisiz frenleme davranışının sergilenmesini engellediği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Optik akış, yaklaşma hızının kontrolü, dürtüsel frenleme, kesintisiz frenleme, sabit tau stratejisi, sabit tau-dot stratejisi, oransal değişim, oransal değişim kontrolü

## Abstract

This study aims to investigate the effects of vehicle dynamics, such as the braking function, on the optical variables and control strategies used in visually-guided braking. The task used in the study was “to slow down from a high speed to stop before reaching an obstacle in the path of motion”. Given this task, humans exhibit two different behaviors: impulsive braking and continuously regulated braking. The results of Experiment 1 indicated that, when the braking function was nonlinear, the weak version of the constant tau strategy was used in impulsive braking. The brake was initiated when the optical variable tau reached a critical value. When the obstacle was far away, the critical tau value was 3.7 s. When the obstacle was close, the critical tau value was 2 s. The aim of Experiment 2 was to investigate continuously-regulated braking. Experiment 2 revealed that, when the braking function was nonlinear, the participants exhibited predominantly impulsive braking and used the weak version of the constant tau strategy. The critical tau value used when away from the obstacle was 3 s, while the critical tau value used when close to the obstacle was 1.5 s. Taken together, the results of the present study indicate that a nonlinear braking function reinforces impulsive braking and suppresses continuously-regulated braking.

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

**Yazar Notu:** Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından SOBAG-114K344 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

**Yazışma Adresi:** <sup>1</sup>Didem Kadıhasanoğlu, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü, Söğütözü Caddesi No:43, Söğütözü, 06560, Ankara-Türkiye, dkadi@etu.edu.tr, ORC-ID: 0000-0001-9899-7264

**Gönderim Tarihi:** 31.05.2019

**Kabul Tarihi:** 28.04.2020

Lokomasyonun, yani bir yerden başka bir yere gitme hareketinin, görsel kontrolü günlük hayatımızın hemen hemen her anında karşılaştığımız ve çoğu zaman başarı ile çözdüğümüz problemlerden biridir. Algı ve hareketin koordineli bir biçimde çalışmasını gerektiren lokomasyonun görsel kontrolü, hareket yönünün algılanması (perception of heading), yön değiştirmenin kontrolü (control of heading), duran veya hareketli engellerle çarpışmanın önlenmesi (obstacle avoidance), hareketli nesnelerin yakalanması (intercepting moving targets), belli bir hedefe yönlenme (steering) ve yaklaşma hızının kontrolü (braking) gibi davranışları içermektedir. Çarpmadan, hafif temas (soft contact) kurma amacıyla nesnelere yaklaşmak olarak tanımlanan yaklaşma hızının görsel kontrolü günlük hayatımızda sık sık karşımıza çıkar. Bir kapıya yönelip kapıyı açmak, kırmızı ışıkta önümüzdeki araca çarpmadan durmak nesnelere yaklaşma hızımızı doğru bir şekilde kontrol etmemiz ile mümkündür. Yaklaşma hızının doğru bir şekilde kontrol edilmesi ise optik akış (the optic flow) içerisindeki göreve özgü bilgilerin (task-specific information) tespiti ve bu bilgilerin kullanıldığı kontrol stratejisi veya stratejilerinin geliştirilmesini gerektirir (Gibson, 1979/1986).

Bu çalışmada, “seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan yavaşlayarak durma” görevi bağlamında yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve bu değişkenlere bağlı kontrol stratejileri araştırılmaktadır. Bu alanda yapılan araştırmalar, böyle bir görev ile karşılaşıldığında insanların iki tür davranış gösterdiklerini ortaya koymuştur: (1) dürtüsel frenleme (impulsive braking) ve (2) kesintisiz frenleme (continuously-regulated braking) (Yılmaz ve Warren, 1995). Dürtüsel frenlemede fren kesintili bir şekilde, çoğu zaman “şimdi frene bas-şimdi freni bırak” ilkesi doğrultusunda kullanılır. Kesintisiz frenlemede ise fren sürekli bir şekilde kullanılır; gerektiğinde azaltılır ve/veya artırılır ama hiçbir zaman tamamen bırakılmaz. Bu çalışma kapsamında dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme davranışının altında yatan optik değişkenler ve kontrol stratejileri araştırılmakta ve frenleme fonksiyonu gibi taşıt dinamiklerinin davranışın kontrolünde kullanılan stratejiler üzerindeki etkileri incelenmektedir.

### Optik Akış ve Algı/Harekete Bilgi-Temelli Yaklaşım

Gibson (1950, 1966, 1979/1986) tarafından geliştirilen algı/harekete bilgi-temelli yaklaşıma (information-based approach to perception/action) göre, bir gözlemci içinde bulunduğu çevrede hareket ettiğinde gözlemcinin gözünde optik akış (the optic flow) olarak adlandırılan optik bir hareket örüntüsü oluşur. Optik akış, çevrenin üç boyutlu yapısı, çevredeki nesne ve yüzeylerin birbirlerine göre konumları, gözlemcinin hareketi ve çevrede hareketli nesnelere varsa bu nesnelerin hare-

ketleri hakkında hem uzamsal (spatial) hem de zamansal (temporal) olarak sürekli ve zengin bir bilgi kaynağıdır. Optik akış her an değişim içinde olsa da optik akış içerisinde korunan bazı örüntüler vardır. Optik değişken (optical variable) olarak adlandırılan bu örüntülerin sağladığı bilgiler hareketin kontrolü için kullanılır. Başka bir deyişle, bir davranışı başarı ile gerçekleştirmek için gözlemci, optik akış içerisinde belirli bir örüntü oluşturacak ve bu örüntüyü koruyacak şekilde hareket etmelidir. Farklı optik değişkenler farklı davranışların başarı ile gerçekleştirilmesi için bilgi sağlar. Bu haliyle optik değişkenlerin sağladığı bilgi göreve özgüdür.

### Yaklaşma Hızının Görsel Kontrolü

Bu çalışmada araştırılan “seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan yavaşlayarak durma” görevini başarı ile gerçekleştirmek için alanyazında önerilen farklı optik değişkenler ve kontrol stratejileri bulunmaktadır. Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılacak ilk optik değişken, nesnelere temas zamanı (time-to-contact) hakkında bilgi sağlayan tau ( $\tau$ ) değişkenidir (Lee, 1976). Tau değişkeni, sahip olunan hız sabit tutulduğunda gözlemcinin ne kadar zaman sonra nesne ile çarpışacağı hakkında bilgi vermektedir. Görsel sistemin tau değişkenine duyarlı olduğu ve insanların tau değişkenini kullanarak yaklaşmakta olan nesnelerin temas zamanlarını tahmin ve ayırt edebildikleri Regan ve Hamstra (1993) ve Todd'un (1981) çalışmaları ile gösterilmiştir.

Bingham (1995) yaklaşma hızının, *sabit tau stratejisi* denilen bir strateji kullanılarak kontrol edilebileceğini önermiştir. Bu stratejinin katı ve esnek olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Katı sabit tau stratejisi kullanıldığında, çarpmadan, güvenli bir şekilde nesnenin önünde durmak için yaklaşma hızı, tau belli bir değerde sabit kalacak şekilde değiştirilir. Bu strateji ile hız, sabit bir yavaşlama ivmesi ile lineer bir biçimde azalmakta ve ani bir frene gerek kalmadan, nesnenin önünde sarsıntısız bir biçimde durulmaktadır. Ancak, bugüne kadar yapılan araştırmalarda, katı stratejinin kullanıldığına dair herhangi bir bulgu elde edilememiştir. Esnek sabit tau stratejisinde, tau değişkeni frene basma ve freni bırakma zamanlarının belirlenmesinde kullanılır (Bingham, 1995). Tau yani nesne ile temas zamanı kritik bir değer altına düştüğünde, gözlemci frene basmaktadır. Gözlemcinin hızındaki azalma, nesne ile temas zamanında yani tau'da, hızlı bir artışa neden olmaktadır. Tau güvenli bir değer üzerine çıktığında gözlemci frene basmayı bırakmakta ve tau tekrar kritik değere düşene kadar frene basılmamaktadır. Katı sabit tau stratejisi kullanıldığında kesintisiz frenleme davranışı ortaya çıkarken, esnek sabit tau stratejisi kullanıldığında dürtüsel frenleme davranışı gözlemlenir.

Yaklaşma hızının kontrolünde kullanılacak bir başka değişken,  $\tau$ 'nin zamana göre birinci türevi olan  $\dot{\tau}$  değişkenidir. Lee (1976)  $\tau$  değişkeninin frenleme esnasında yavaşlama ivmesinin (deceleration) nesneye çarpmadan durabilmek için yeterli olup olmadığı hakkında bilgi sağladığını göstermiştir. Sabit hızla hareket edildiğinde  $\tau$ 'nin değeri  $-1.0$ 'de sabit kalmaktadır. Frene gereğinden fazla basıldığında  $\tau$ 'nin değeri  $-0.5$ 'ten büyük olur. Bu durumda, gözlemci freni azaltmazsa nesneden çok uzakta durur. Frene gereğinden az basıldığında ise  $\tau$ 'nin değeri  $-0.5$ 'ten küçük olur ve gözlemci freni arttırmadığı takdirde nesneye çarpar.  $\tau$ 'nin  $-0.5$ 'te tutulması gözlemcinin sabit bir yavaşlama ivmesi ile nesnenin tam önünde durmasını sağlar. Lee (1976) tarafından önerilen *sabit  $\tau$  stratejisine* göre, bir nesnenin önünde çarpmadan durabilmek için gözlemcinin,  $\tau$   $-0.5$ 'te sabit kalacak şekilde hareket etmesi gerekir.

Yaklaşma hızının, sabit  $\tau$  stratejisi kullanılarak kontrol edildiği hipotezini destekleyen en önemli çalışma Yılmaz ve Warren'ın (1995) çalışmasıdır. Bu çalışmada katılımcılardan, bilgisayar ekranında simüle edilen üç boyutlu bir çevre içinde, belirli uzaklıklarda bulunan nesnelere çarpmadan durmaları istenmiştir. Katılımcılar hızlarını bilgisayara bağlı bir fareyi fren gibi kullanarak değiştirmişlerdir. Yılmaz ve Warren'ın (1995) analizleri yavaşlama boyunca  $\tau$  değerlerin  $-0.5$  etrafında salındığını ve ortalama  $\tau$  değerinin  $-0.51$  olduğunu göstermiştir. Bu bulgulardan yola çıkarak Yılmaz ve Warren (1995) yaklaşma hızının kesintisiz kontrolünün sabit  $\tau$  stratejisi kullanılarak sağlandığını savunmuşlardır. Bununla birlikte, Yılmaz ve Warren'ın (1995) araştırması kullandıkları yöntem bakımından eleştirilebilir. Yılmaz ve Warren (1995) ortalama  $\tau$  değerlerini hesaplamak için lineer regresyon analizi kullanmışlardır.  $\tau$  zaman serilerine en uygun regresyon doğrusu elde edilmiş ve regresyon doğrusunun eğimi ortalama  $\tau$  değeri olarak alınmıştır. Bardy ve Warren'ın (1997) belirttiği gibi regresyon doğrusunun eğimi sadece ortalama bir  $\tau$  değeri vermektedir. Başka bir deyişle, ortalama  $\tau$  değerleri sabit  $\tau$  stratejisinin öngördüğü değerde olsa da  $\tau$  aslında  $-0.5$ 'te sabit tutulmuyor ve değişiyor olabilir.

Anderson ve Bingham (2010) tarafından önerilen *orsal değişim kontrolüne* (proportional rate control) göre, bir nesneye çarpmadan başarı ile durmak için  $\tau$  ve  $\dot{\tau}$  arasındaki oran sabit kalacak şekilde hareket edilmelidir. Matematiksel olarak  $\dot{\tau}/\tau$  şeklinde tanımlanan orsall değişim (proportional rate), yaklaşma hızının kontrolünde kullanılacak üçüncü bir optik değişkendir. Orsall değişim kontrolü, sabit tutulduğunda başarı ile durmayı sağlayacak değerler aralığı vermektedir. Orsall değişimin değeri, bu aralıkta kaldığı

sürece nesnenin önünde çarpmadan durulabilir. Orsall değişimin farklı değerlerde sabit tutulması nesneye yaklaşma süresini değiştirir. Bazı değerlerde, yüksek bir yavaşlama ivmesi ile daha kısa sürede durulurken bazı değerlerde daha düşük bir yavaşlama ivmesi ile daha uzun sürede durulmaktadır.

Anderson ve Bingham'ın (2011) "uzanmak üzere lokomasyon" (locomoting-to-reach) davranışının (örn., açmak üzere bir kapıya yönelmek) altında yatan optik değişkenleri ve kontrol stratejilerini araştırdıkları çalışmalarında, katılımcılardan belirli bir hedefe koşmaları ve burunlarının ucu hedefe ulaştığında durmaları istenmiştir. Elde edilen veriler Yılmaz ve Warren'ın (1995) kullandığı yöntemle analiz edildiğinde, yaklaşma boyunca ortalama  $\tau$  değerlerinin  $-0.50$  civarında olduğu bulunmuştur. Ancak,  $\tau$  ve orsall değişim zaman serileri üzerinde gerçekleştirilen iki-yarım analizleri (split-half analysis, analizin ayrıntıları için bkz. Deneysel Yöntem bölümü) yaklaşma boyunca  $\tau$ 'nin  $-0.5$ 'te sabit tutulmadığını ve değiştiğini; orsall değişimin ise  $-0.2$  civarında sabit tutulduğunu göstermiştir. Bir başka ifadeyle katılımcılar, orsall değişim kontrolünü kullanmışlardır.

Anderson ve Bingham'ın (2011) elde ettiği sonuçlar, "seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan yavaşlayarak durma" görevini başarı ile gerçekleştirmek için kullanılan kontrol stratejisinin sabit  $\tau$  stratejisi ile değil de, orsall değişim kontrolü olabileceği hipotezini destekler niteliktedir. Başka bir deyişle, Yılmaz ve Warren (1995) elde ettikleri veriler için iki-yarım analizi kullansalardı,  $\tau$ 'nin aslında sabit tutulmadığını ve değiştiğini gözlemleyebilirlerdi. Kadıhasanoğlu'nun (2012) bu fikirden yola çıkarak tasarladığı çalışmasında, katılımcılardan, bilgisayar ekranında simüle edilen üç boyutlu bir çevre içerisinde bulunan hedef nesnelere çarpmadan durmaları istenmiştir. Çalışmada fren olarak bilgisayara bağlı bir kumanda kolu (joystick) kullanılmıştır. Katılımcıların kesintisiz frenleme davranışı sergiledikleri denemelerden elde edilen veriler iki-yarım analizi ile incelendiğinde, yavaşlama boyunca  $\tau$ 'nin  $-0.5$ 'te sabit tutulmadığı; orsall değişimin ise  $(-0.15, -0.25)$  aralığında sabit tutulduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar, katılımcıların, yaklaşma hızlarını kesintisiz bir şekilde kontrol ederken sabit  $\tau$  stratejisini değil, orsall değişim kontrolünü kullandığını göstermiştir.

Her ne kadar alanyazında nesnelere yaklaşma hızı kontrol edilirken dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme olmak üzere iki farklı davranış gözlemlendiği belirtilse de, Kadıhasanoğlu'na (2012) kadar yapılan bütün çalışmalar (Fajen 2005; Yılmaz ve Warren, 1995) kesintisiz frenleme davranışı üzerinedir. Kadıhasanoğlu (2012), dürtüsel frenleme davranışının araştırıldığı alan-

yazındaki ilk çalışmadır (ayrıca bkz. Kadıhasanoğlu ve ark., 2021) ve elde edilen sonuçlar dürtüsel frenlemenin altında yatan kontrol stratejisinin esnek sabit tau stratejisi (Bingham, 1995) olduğunu göstermiştir. Bir başka deyişle, katılımcılar dürtüsel frenleme davranışını sergilerken frene basma zamanlarını tau değişkenini kullanarak belirlemişlerdir. İlk frene basma tau yaklaşık 3.5 s iken gerçekleştirilmiş; ilk frenlemeden sonraki her frenleme tau yaklaşık olarak 2 s iken yapılmıştır.

Kısaca özetlemek gerekirse Kadıhasanoğlu'nun (2012) çalışması, (1) yaklaşma hızının dürtüsel kontrolünde kullanılan kontrol stratejisinin esnek sabit tau stratejisi olduğunu ve (2) yaklaşma hızının kesintisiz kontrolünün oransal değişim kontrolü kullanılarak gerçekleştirildiğini göstermektedir (ayrıca bkz. Kadıhasanoğlu ve ark., 2021). Bununla birlikte, yaklaşma hızının kontrolü için kullanılan stratejiler optik değişkenler ile beraber taşıt dinamiklerine de bağlıdır. Ancak taşıt dinamiklerinin, özellikle de azami fren kapasitesi ve frenleme fonksiyonu gibi frenleme sisteminin özelliklerinin davranış üzerindeki etkileri alanyazında göz ardı edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda (Fajen 2005; Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995) sadece lineer frenleme fonksiyonları kullanılmıştır. Frenleme davranışındaki bir birimlik değişim (örn. kumanda kolu pozisyonundaki geriye doğru bir birimlik değişim) yavaşlama ivmesinde bir birimlik değişime eşittir. Bu çalışmanın temel amacı, frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme davranışları üzerindeki etkilerini incelemektir. Bir başka deyişle, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme davranışları altında yatan optik değişkenler ve kontrol stratejilerinin nasıl değiştiğini araştırmaktır. Frenleme fonksiyonunun, davranış üzerinde iki farklı etkisi olabilir. Birinci etki şu şekilde açıklanabilir: Frenleme fonksiyonu, davranışın kontrolünde kullanılan optik değişken ve kontrol stratejisini değiştirmez; ancak, kontrol stratejisi içerisinde kullanılan kritik optik değişken değerleri değişebilir. Örneğin, frenleme fonksiyonu lineer olduğunda, dürtüsel frenleme davranışı sergilenirken kullanılan kritik tau değerleri 3.5 s ve 2 s. iken, frenleme fonksiyonu lineer olmadığında kullanılan kritik tau değerleri farklı olabilir. İkinci etki ise şu şekilde açıklanabilir: Frenleme fonksiyonu değiştiğinde davranışın kontrolünde kullanılan optik değişken ve kontrol stratejisi değişebilir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, dürtüsel frenleme davranışını ve kesintisiz frenleme davranışını inceleyen iki ayrı deney tasarlanmıştır.

### **Deney 1: Dürtüsel frenleme Davranışı**

Kadıhasanoğlu'nun (2012) elde ettiği bulgular yaklaşma hızının dürtüsel kontrolünde kullanılan strate-

jinin esnek sabit tau stratejisi (Bingham, 1995) olduğunu desteklemektedir. Bir başka deyişle, dürtüsel frenleme davranışında tau değişkeni frene basma zamanının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak, Kadıhasanoğlu (2012) çalışmasında sadece lineer frenleme fonksiyonu kullanmıştır. Frenleme fonksiyonu özelliklerinin davranış üzerindeki etkisi incelenmemiştir. Bu sebeple, Deney 1'in amacı, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığı durumda sergilenen dürtüsel frenleme davranışını incelemektir. Böylelikle frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme davranışı ve bu davranışın altında yatan kontrol stratejileri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## **Yöntem**

### **Katılımcılar**

Deney 1'de 15 katılımcıdan veri toplanmıştır. On beş katılımcıdan beşi deneyi tamamlamadan bırakmıştır. Deneyi tamamlayan on katılımcının yaşı 18 ve 22 arasında değişmekte ( $19.80 \pm 1.23$ ) olup katılımcıların altısı kadın, dördü erkektir. Çalışmaya görme yetisi normal ve/veya gözlük ve kontakt lens kullanarak düzeltilebilir görme kusuru olan katılımcılar dahil edilmiştir. Katılımcıların sözel bildirimlerine göre herhangi bir motor ve/veya nörolojik problemleri bulunmamaktadır (Öz bildirim yolu ile belirlenmiştir.). Hepsisi baskın olarak sağ ellerini kullanmaktadır. On katılımcıdan üçünün ehliyeti bulunmamaktadır ve daha önce hiç araba kullanmamışlardır. Mevcut çalışmada yeterli sayıda alıştırtma oturumlarının olması nedeniyle araba kullanılmamış olması potansiyel bir karıştırıcı değişken değildir. Yedi katılımcının araba kullanma süresi ise beş ay ile bir yıl arasında değişmektedir.

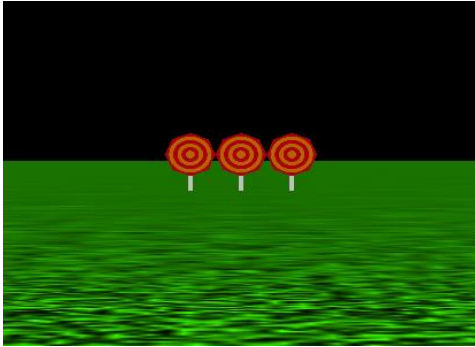
### **Deney Oturumları**

Toplanan verilerin güvenilir olması için katılımcıların hem deneysel düzeneğe hem de deneyde kullanılan fren özelliklerine alışması gerekmektedir. Bu nedenle, Deney 1'de test oturumundan önce alışma oturumları gerçekleştirilmiştir. Kadıhasanoğlu (2012), dürtüsel frenleme davranışının zorluk yaşanmadan sergilenebilmesi için en az üç alıştırtma oturumu gerektiğini gözlemlemiştir. Bu sebeple Deney 1'de katılımcılar, üç alıştırtma oturumu ve bir test oturumu olmak üzere dört ayrı oturuma katılmışlardır. Her oturum ortalama 45 dakika sürmüştür. Oturumlar, aralarında en fazla bir gün olacak şekilde ayrı günlerde gerçekleştirilmiştir.

### **Uyarıcılar ve İşlem**

Yaklaşma hızının görsel kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejilerini araştırırken en yaygın olarak kullanılan deneysel düzenekte, katılımcı-

lara bir bilgisayar ekranında simüle edilen üç boyutlu bir çevre içinde belirli uzaklıklarda hedef nesnelere gösterilmektedir. Her deneme nesnelere lineer bir rota üzerinde, sabit hızla yaklaşarak başlamaktadır. Katılımcılardan, nesnelere çarpmadan mümkün olan en yakın mesafede durmaları istenmektedir. Katılımcılar hızlarını bilgisayara bağlı bir fare veya kumanda kolu yardımı ile kontrol ederler. Yaygın olarak kullanılması ve geçerliliğinin birçok çalışma tarafından test edilmiş olması sebebiyle bu çalışmadaki deneyler, bu deneysel düzenek temel alınarak tasarlanmıştır. Katılımcılar, bilgisayar ekranında simüle edilmiş üç boyutlu bir çevrede, siyah bir gökyüzü altında ve dokulu bir zemin üzerinde belirli uzaklıkta trafik levhalarına benzeyen, yan yana konumlandırılmış üç hedef nesne görmüşlerdir. (Bkz. Şekil 1). Ortadaki nesnenin merkezi bilgisayar ekranının tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Yan yana üç nesne kullanılarak optik genişleme (optical expansion) artırılmıştır. Böylelikle tau değişkeninin uzak mesafelerde davranışın kontrolü için güvenilir bir bilgi kaynağı olması sağlanmıştır. Nesnelerin hedef tahtasına benzer bir dokusu bulunmaktadır. Nesnelerin tüm bilgisayar ekranını kapladığı durumlarda nesnelerin dokusu optik olarak genişlemeye devam etmiş ve tau değişkeninin yakın mesafelerde de güvenilir bir bilgi kaynağı olması sağlanmıştır.



**Şekil 1.** Deneylerde kullanılan görsel uyarıcı örneği (Deney kodu çalıştığı esnada ekran görüntüsü alınarak elde edilmiştir).

Elde edilen sonuçların Kadıhasanoğlu'nun (2012) elde ettiği sonuçlarla kıyaslanabilir olması açısından anılan çalışmada olduğu gibi beş farklı başlangıç temas zamanı (8.0 s, 9.0 s, 10.0 s, 11.0 s ve 12.0 s) ve beş farklı başlangıç mesafesi (96.0 birim, 106.0 birim, 116.0 birim, 126.0 birim ve 136.0 birim) ile çaprazlanarak 25 farklı deneme koşulu (trial condition) elde edilmiştir. Yirmi beş deneme koşulunun 13 tanesi alıştırmaya oturumlarında kullanılmak üzere seçilmiş ve her biri sekiz defa sunulmuştur. Böylece katılımcılar, alıştırmaya oturumlarında

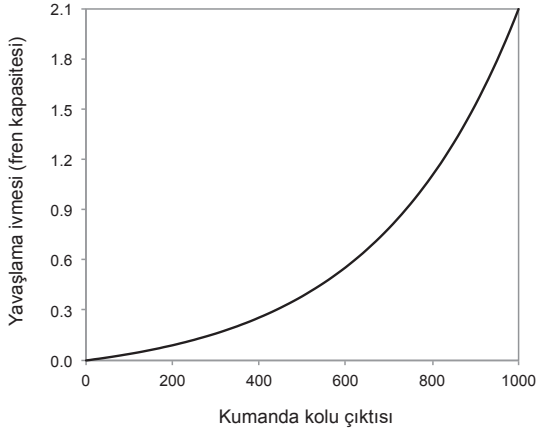
toplam 96 deneme tamamlamışlardır. Doksan altı deneme her katılımcıya seçkisiz bir biçimde sunulmuştur. Test oturumunda ise 25 deneme koşulunun her biri dört defa sunulmuş ve test oturumu toplam 100 denemeden oluşmuştur. Yüz deneme her katılımcıya seçkisiz olarak sunulmuştur. Katılımcıların, optik değişkenlere bağlı kontrol stratejileri yerine nesne büyüklüğüne bağlı bir strateji kullanmalarını önlemek amacıyla (örn. nesnelere bilgisayar ekranının belirli bir kısmını kapladığı zaman frene başlamak gibi) nesnelerin büyüklükleri denemeler boyunca 0.6 ve 1.8 birim arasında seçkisiz olarak değiştirilmiştir.

Katılımcılar, bir masa üzerine yerleştirilmiş bilgisayar ekranı önünde, yüksekliği ayarlanabilir bir sandalyeye, sırtları sandalyenin arkasına geçecek şekilde oturmuşlardır. Sandalyenin yüksekliği, katılımcının göz yüksekliği (eye height) bilgisayar ekranının tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmıştır. Katılımcının gözü ile bilgisayar ekranı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 70 cm'de tutulmuştur. Masanın üstüne bir klavye ve bir kumanda kolu yerleştirilmiştir. Katılımcılardan, kumanda kolunu bir fren gibi kullanarak, nesnelere çarpmadan mümkün olan en yakın mesafede durmaları istenmiştir. Katılımcılara, freni gerçekten araba kullanıyormuş gibi uygulamaları, fren yaparken ani ve büyük değişimlerden mümkün olduğunca kaçınmaları gerektiği söylenmiştir. Katılımcılar kumanda kolunu baskın elleri ile kontrol etmişlerdir. Deneyler, binoküler bir şekilde yapılmıştır.

Her deneme, lineer bir rota üzerinde hedef nesnelere sabit hızla yaklaşarak başlamıştır. Katılımcılar, denemeleri baskın olmayan elleri ile klavyenin "b" tuşuna basarak başlatmışlardır. Hız 0.0 olduğunda denemeler sona ermiştir. Bu nedenle katılımcılardan, nesnelere çarpsalar bile frenlemeye devam etmeleri ve tamamen durmadan freni bırakmamaları istenmiştir. Çarpışma nesnelerin içinden geçip gitmek şeklinde simüle edilmiştir. Katılımcılar durdukları anda nesnelerin bilgisayar ekranındaki nihai konumlarını görmüş ve nesnelere ne kadar yakın durdukları ile ilgili farklı bir geribildirim verilmemiştir. Denemelerin arasında, siyah bir zemin üstünde beyaz renk ile "Başlamak için "b" tuşuna basın" yazısı ekranda gösterilmiştir. Katılımcılar "b" tuşuna basana kadar bir sonraki deneme başlamamıştır. Tüm denemeler tamamlandığında deney otomatik olarak sonlandırılmıştır. Deneylerin kodu "C++ programlama dili" ve "OpenGL bilgisayar grafikleri için uygulama programı arabirimi" kullanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

$$\text{yavaşlama ivmesi} = \frac{20.0(x/1000.0) - 1.0}{19.0}$$

x: kumanda kolu çıktısı (1)



**Şekil 2.** Kumanda kolu çıktısı ve yavaşlama ivmesi (fren kapasitesi) arasındaki eşleme

Kumanda kolu çıktısı ve yavaşlama ivmesi arasındaki ilişki şu şekildedir. Kumanda kolu nötr pozisyonundayken yavaşlama ivmesi 0'dır. Başka bir deyişle, frenleme yoktur ve nesnelere sabit hızla yaklaşılmıştır. Frenleme için kumanda kolunu nötr pozisyonundan geriye doğru çekilmiştir. Kumanda kolu nötr pozisyonundan en geriye doğru çekildiğinde kumanda kolu çıktısı 0'dan +1000'e lineer olarak yükselmektedir. Kumanda kolunun en gerideki pozisyonu azami yavaşlama ivmesi (fren kapasitesi) ile eşleştirilmiştir. Deney 1'de azami yavaşlama ivmesi 2.1 birim/s<sup>2</sup> olarak seçilmiştir. Kumanda kolunun çıktılarını yavaşlama ivmesine dönüştürülürken Formül 1'de verilen lineer olmayan frenleme fonksiyonu kullanılmıştır. Kumanda kolu çıktısı ve yavaşlama ivmesi arasındaki eşleşme Şekil 2'de gösterilmektedir.

Araştırmada kullanılan uyarıcılar ve işlem, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi İnsan Araştırmaları Değerlendirme Kurulu'nda değerlendirilmiş ve etik kurul onayı alınmıştır. Alıştırma oturumuna başlamadan önce gönüllü katılımcılar bilgilendirilmiş onam formunu onaylamış, daha sonra yaşı, ehliyetleri olup olmadığı ve ehliyetleri varsa ne kadar süredir araba kullandıkları gibi sorular içeren bilgi toplama formunu doldurmuşlardır. Katılımcılar araştırmanın herhangi bir aşamasında bir sebep göstermeden çekilebilecekleri konusunda bilgilendirilmiştir. Deneyi tamamlayan on katılımcıya kendi istekleri doğrultusunda ya katılım ücreti ödenmiş ya da ders kredisi verilmiştir.

### Veri Toplama ve Analizi

Deneyde toplanan verilerin analizleri, yazar tarafından MATLAB ortamında yazılan bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Deneyden toplanan ham veriler, her denemenin her bir karesi (frame) için

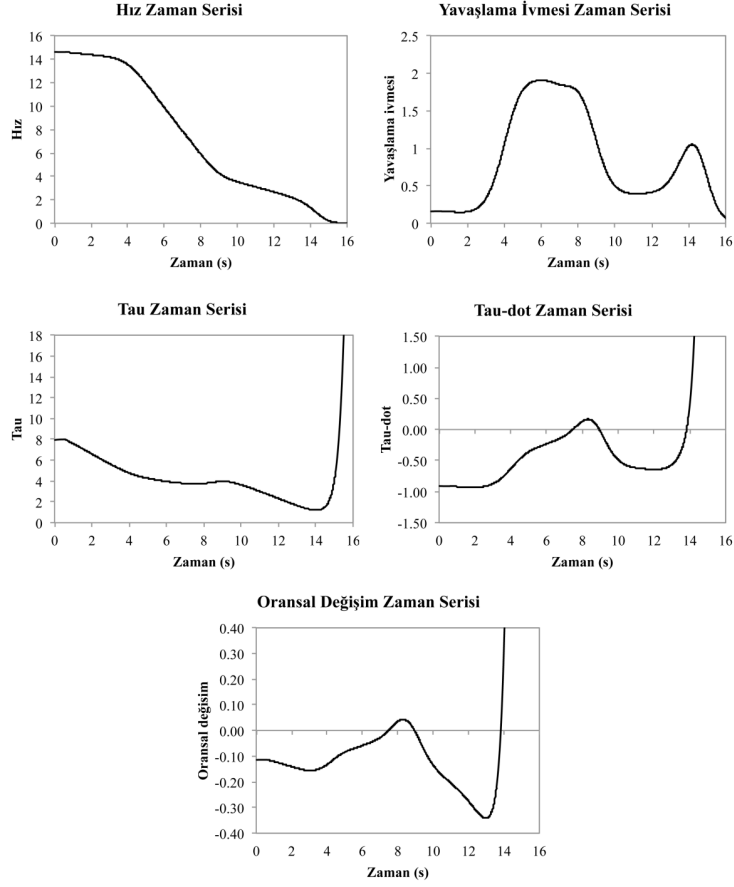
katılımcının nesnelere olan mesafesini gösteren zaman serilerinden oluşmaktadır. Her deneme için katılımcıların hızları, ilgili denemenin mesafe zaman serilerinin sayısal türevleri alınarak (numerical differentiation) bulunmuştur. Yavaşlama ivmesi (deceleration), hız zaman serilerinin sayısal türevleri alınarak elde edilmiştir. Hız ve ivme zaman serileri elde edildikten sonra her deneme için tau zaman serileri Formül 2, tau-dot zaman serileri ise Formül 3 ile hesaplanmıştır (Lee, 1976).

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

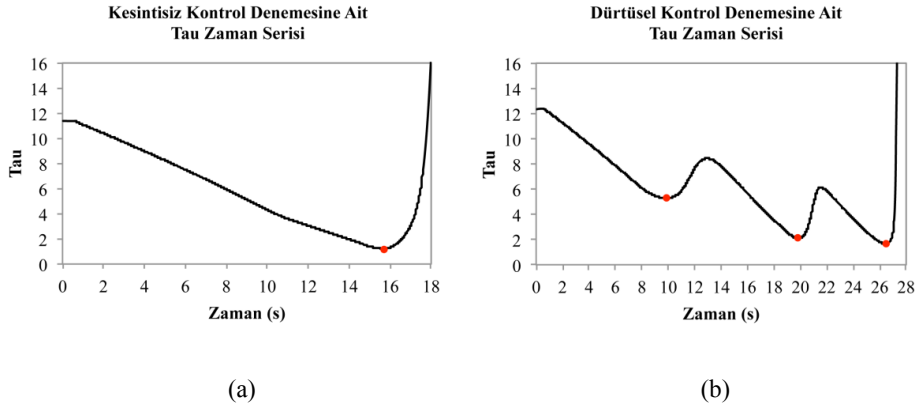
Tau ve tau-dot zaman serileri elde edildikten sonra her denemeye ait oransal değişim zaman serileri, her bir örneklem noktası için tau-dot değerleri tau değerlerine bölünerek elde edilmiştir. Nesnelere önünde çarpmadan başarı ile durulan bir denemeye ait örnek hız, yavaşlama ivmesi, tau, tau-dot ve oransal değişim zaman serileri Şekil 3'te verilmiştir.

Katılımcılardan deneyi %100 başarı oranı ile tamamlamaları beklenmemektedir. Görevin doğası gereği, çarpışma ile sonlanan denemelere rastlanmaktadır. Çarpışma ile sonuçlanan denemeler başarısız denemeler olarak değerlendirilmiş ve bu denemelerden elde edilen veriler veri analizine dahil edilmemiştir. Çarpışma gibi nesnelere çok uzakta durmak da görsel bilginin yeterince etkili kullanılmadığının göstergesidir. Kadıhasanoğlu'nun (2012) çalışması ile uyumlu olarak, katılımcı durduğunda nesnelere olan uzaklığın 8.0 birimden büyük olduğu denemeler de başarısız olarak değerlendirilmiş ve bu denemelerden elde edilen veriler analizlere dahil edilmemiştir. Özetle, çarpışma ile sonuçlanan ve nesnelere çok uzakta durulan denemeler başarısız denemeler olarak tanımlanmıştır.

Her ne kadar Deney 1'in amacı dürtüsel frenleme davranışının altında yatan optik değişkenleri ve kontrol stratejilerini araştırmak olsa da katılımcıların bazı denemelerde kesintisiz frenleme davranışı sergiledikleri gözlemlenmiştir. Bu nedenle başarılı denemeler, dürtüsel frenlemenin kullanıldığı denemeler ve kesintisiz frenlemenin kullanıldığı denemeler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yavaşlama ivmesinin (frenin) düzenli ve sürekli bir biçimde artırılıp azaltıldığı kesintisiz frenleme, monoton azalan tau zaman serileri ortaya çıkarırken (Bkz. Şekil 4a); dürtüsel frenlemenin karakteristik özelliği olan yavaşlama ivmesindeki hızlı ve ani değişimler tau zaman serilerinde artma ve azalmalara neden olur. Bu artma ve azalmalar tau zaman serilerinde yerel minimum ve maksimumlar oluştururlar (Bkz. Şekil 4b). Her denemede, deneme sonlarına doğru hız sıfıra yaklaşırken tau değerlerinin sonsuza iraksamasından dolayı bir adet yerel minimum bulunmaktadır.



Şekil 3. Nesnelerin önünde çarpmadan, başarı ile durulan bir denemeye ait örnek hız, yavaşlama ivmesi, tau, tau-dot ve oransal değişim zaman serileri.



Şekil 4. (a) Kesintisiz frenleme ve (b) Dürtüsel frenleme denemesine ait tau zaman serisi. Yerel minimumlara denk gelen noktalar kırmızı ile işaretlenmiştir.

Buradan hareketle, tau zaman serilerinde en az iki yerel minimum bulunan denemeler dürtüsel frenleme davranışının gösterildiği denemeler olarak kabul edilmiştir. Tau zaman serilerinde sadece bir yerel adet minimum bulunan denemeler ise kesintisiz frenleme denemeleri olarak sınıflandırılmışlardır.

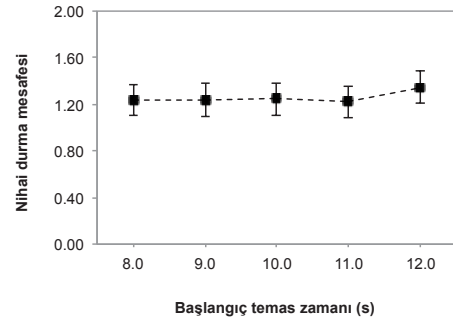
### Bulgular

Deney 1'i on katılımcı da başarı oranları %70'in üzerinde olacak şekilde tamamlamışlardır. Buna ek olarak, altı katılımcının başarı oranı %90'ın üzerindedir. Katılımcıların başarılı ve başarısız deneme sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Başarılı denemeler dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme denemeleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Tablo 1'de de görüldüğü üzere sadece bir katılımcının kesintisiz frenleme denemeleri dürtüsel frenleme denemelerinden daha fazladır. Bir diğer katılımcının ise dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme denemeleri eşit sayıdadır. Geriye kalan sekiz katılımcının dürtüsel frenleme denemeleri daha fazladır. Başka bir deyişle, on katılımcıdan sekizi Deney 1'de ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilemişlerdir. Deney 1'in amacı dürtüsel frenleme davranışının altında yatan optik değişkenler ve kontrol stratejilerini araştırmaktır. Bu sebeple, aşağıda rapor edilen analizler deneyi tamamlayan on katılımcının dürtüsel frenleme davranışı sergiledikleri denemelerden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

#### Nihai durma mesafesi

Katılımcıların dürtüsel frenleme davranışı sergiledikleri denemelerdeki nihai durma mesafeleri tekrarlı

ölçümler için varyans analizi (repeated measures ANOVA) ile karşılaştırılmıştır. Başlangıç temas zamanı denek içi faktör olarak alınmış; analizlerde anlamlılık düzeyi .05 olarak belirlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre başlangıç temas zamanının nihai durma mesafesi üzerindeki temel etkisi anlamlı değildir ( $F(4, 408) = 0.797, p = 0.528$ ). Her bir başlangıç temas zamanı için katılımcıların ortalama nihai durma mesafeleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, başlangıç temas zamanından bağımsız olarak katılımcıların ortalama durma mesafeleri 1.20 birim civarındadır ( $Genel Ort. = 1.258, SH (standart hata) = .128$ ). Başka bir deyişle, katılımcılar hedef nesnelere oldukça yakın bir mesafede durmuş ve durma mesafesi başlangıç temas zamanından etkilenmemiştir.



Şekil 5. Deney 1'in dürtüsel frenleme denemeleri için başlangıç temas zamanına göre ortalama nihai durma mesafesi (Hata çubukları  $\pm 1$  standart hata değerini göstermektedir.)

Tablo 1. Her Bir Katılımcının Deney 1'deki Başarılı ve Başarısız Deneme Sayıları

Cinsiyet	Yaş	Başarısız denemeler			Başarılı denemeler		
		Çarpma	Uzakta durma	Toplam	Dürtüsel frenleme	Kesintisiz frenleme	Toplam
K	20	14	-	14	50	36	86
K	19	8	-	8	46	46	92
E	19	11	-	11	53	36	89
E	22	2	-	2	88	10	98
E	20	24	-	24	33	43	76
K*	19	27	-	27	54	19	73
E*	21	5	-	5	83	12	95
K	19	9	-	9	81	10	91
K*	18	5	-	5	88	7	95
K	21	2	3	5	85	10	95

\*Daha önce hiç araba kullanmamış katılımcılar



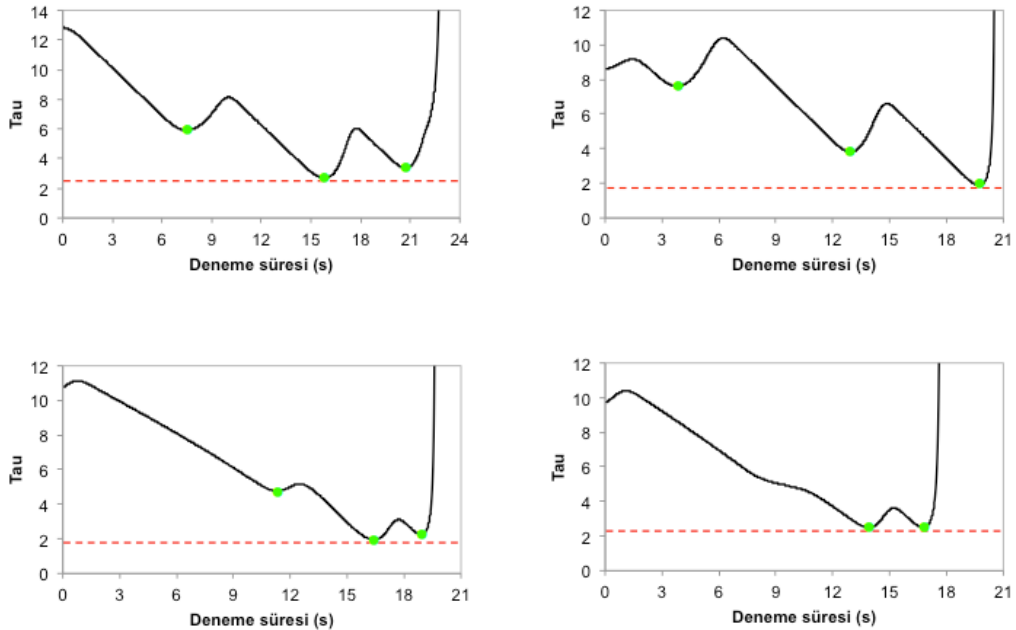
### Dürtüsel frenleme stratejisi

Lineer bir frenleme fonksiyonunun kullanıldığı Kadıhasanoğlu'nun (2012) çalışması dürtüsel frenleme davranışının altında yatan kontrol stratejisinin esnek sabit tau stratejisi (Bingham, 1995) olduğunu göstermiştir. Bu stratejiye göre, tau değişkeni frene basma ve freni bırakma zamanlarının belirlenmesinde kullanılır. Bir başka deyişle, bu strateji, "tau değişkeninin belli bir kritik değeri altına düşmesine izin verme" şeklinde tanımlanabilir. Yukarıda da belirtildiği üzere dürtüsel frenlemede gözlemlenen yavaşlama ivmesindeki ani ve hızlı değişimler tau zaman serilerinde yerel minimumlar oluşturmaktadır. Deney 1'de elde edilen tau zaman serileri incelendiğinde (Bkz. Şekil 6), katılımcıların kritik tau değeri olarak yaklaşık olarak 2 s.'yi kullandıkları ve hızlarını tau 2 s.'nin altına düşmeyecek şekilde ayarladıkları söylenebilir.

Bu gözlemi test etmek amacı ile önce dürtüsel frenleme davranışının gözlemlendiği denemelere ait tau zaman serilerindeki yerel minimumlara denk gelen tau değerleri bulunmuştur (Bkz. Şekil 6'da yeşil ile işaretlenmiş noktalar). Daha sonra bu değerler yerel minimum sırasına göre gruplandırılmıştır. Örneğin, tau zaman serilerindeki ilk yerel minimuma denk gelen tau değerleri bir araya getirilmiştir. Benzer şekilde, ikinci yerel mini-

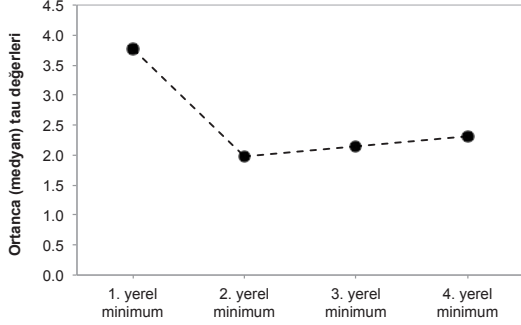
muma denk gelen tau değerleri kendi aralarında gruplandırılmıştır. Toplam 661 dürtüsel frenleme denemesinin sadece 23 tanesinde beş veya daha fazla yerel minimum bulunmaktadır. Bu sebeple analize sadece ilk dört yerel minimuma denk gelen tau değerleri dahil edilmiştir. İlk dört yerel minimuma denk gelen tau değerlerinin frekans dağılımı incelendiğinde, dört frekans dağılımının da düşük tau değerlerine doğru pozitif çarpık olduğu gözlenmiştir. Çarpıklık değerleri sırası ile 0.79, 2.98, 6.55 ve 6.74 olarak bulunmuştur. Nihayetinde, yerel minimumlara denk gelen tau değerlerini en iyi özetleyen istatistiğin aritmetik ortalamadan ziyade ortanca olduğuna karar verilmiştir.

Şekil 7'de verilen ilk dört yerel minimuma denk gelen ortanca tau değerleri incelendiğinde, birincisi için ortanca tau değerinin 3.7 sn olduğu; diğerleri için ise yaklaşık 2 sn olduğu görülmektedir. Bu değerler Kadıhasanoğlu'nda (2012) rapor edilen değerlere (3.5 s ve 2 s) çok yakındır (ayrıca bkz. ve Kadıhasanoğlu ve ark., 2021). Elde edilen bulgular, katılımcıların dürtüsel frenleme davranışı sergiledikleri denemelerde esnek sabit tau stratejisini kullandıkları hipotezini destekler niteliktedir. Başka bir deyişle, katılımcılar, hızlarındaki değişimi tau değişkeni belirli kritik değerlerin altına düşmeyecek şekilde ayarlamışlardır. Denemelerin başlarında kullanılan



Şekil 6. Deney 1'de dürtüsel frenleme davranışının sergilendiği dört farklı başarılı denemeye ait tau zaman serileri. Tau zaman serilerinde yerel minimumlara denk gelen noktalar yeşil ile işaretlenmiştir.

kritik tau değeri yaklaşık 3.7 s iken denemelerin sonlarına doğru kullanılan kritik tau değeri yaklaşık 2 s'dir.



**Şekil 7.** Deney 1'in dürtüsel frenleme denemelerine ait tau zaman serilerindeki ilk dört yerel minimuma ait ortanca tau değerleri.

Daha önceden de belirtildiği üzere, Deney 1'in amacı, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında sergilenen dürtüsel frenleme davranışını inceleyerek frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme davranışı ve bu davranışın altında yatan kontrol stratejileri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Deney 1'in bulguları, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığı durumda da dürtüsel frenleme davranışının altında yatan kontrol stratejisinin esnek sabit tau stratejisi olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, frenleme fonksiyonunun lineer olmadığı durumda kullanılan kritik tau değerleri 3.7 s ve 2 s olarak bulunmuştur. Bu değerler Kadıhasanoğlu (2012) rapor edilen değerler ile neredeyse aynıdır. Bir başka deyişle, frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme davranışı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ve bu davranışı değiştirmediği gözlenmiştir.

### **Deney 2: Kesintisiz frenleme Davranışı**

Kadıhasanoğlu'nun (2012) elde ettiği bulgular, lineer bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında, yaklaşma hızının kesintisiz kontrolünde kullanılan stratejinin oransal değişim kontrolü olduğunu destekler niteliktedir. Oransal değişim kontrolü, oransal değişim değişkeni için bir değerler aralığı vermektedir. Oransal değişim bu aralıktaki herhangi bir değerde sabit tutulduğunda, nesneye çarpmadan nesnenin önünde durulacaktır. Ayrıca oransal değişim kontrolünün iki tipi bulunmaktadır (Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021). Esnek oransal değişim kontrolünde, oransal değişim bir değerde sabit tutulmamakla birlikte stratejinin öngördüğü değerler aralığında salınmaktadır. Bu değerler aralığı, başlangıç temas zamanı ve başlangıç mesafesi gibi deneme koşulları ile azami fren kapasitesi tarafından belirlenmekte-

dir. Çarpmadan nesnelerin önünde durmak için oransal değişim değerlerinin bu aralıkta seyretmesi yeterli olmaktadır. Katı oransal değişim kontrolünde ise oransal değişim değerleri stratejinin öngördüğü değerler aralığında, tercih edilen bir değerde sabit tutulmaktadır. Elde edilen bulgular, insanların kesintisiz frenleme davranışı sergilerken önce esnek oransal değişim kontrolünü, daha sonra ise deneyim kazandıkça katı oransal değişim kontrolünü kullanmaya başladıklarını önermektedir (Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021). Alan yazındaki çalışmalardan (Fajen 2005; Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995) farklı olarak Deney 2'nin amacı, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında kesintisiz frenleme davranışının nasıl etkilendiğini incelemektir.

## **Yöntem**

### **Katılımcılar**

Deney 1'de yer alan on katılımcı, Deney 1'den sonra Deney 2'ye de katılmıştır. Deneyi tamamlayan on katılımcıya kendi istekleri doğrultusunda ya katılım ücreti ödenmiş ya da ders kredisi verilmiştir.

### **Deney Oturumları**

Kesintisiz frenleme davranışının zorluk yaşanmadan sergilenebilmesi için en az beş alıştırmaya oturumu gerekmektedir (Kadıhasanoğlu, 2012). Bu sebeple Deney 2'de katılımcılar, beş alıştırmaya oturumu ve bir test oturumu üzere toplamda altı ayrı oturuma katılmışlardır. Her oturum ortalama 45 dakika sürmüştür. Oturumlar, aralarında en fazla bir gün olacak şekilde ayrı günlerde gerçekleştirilmiştir.

### **Uyarıcılar ve İşlem**

Deney 2'de kullanılan uyarıcılar ve işlem yolu Deney 1'de kullanılanlar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Ancak Deney 2'nin alıştırmaya oturumlarında kullanılan uyarıcıların bir önemli farkı bulunmaktadır. Önceki çalışmalar (Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995) bilgisayar ortamında simüle edilmiş bir görev ile karşılaşıldığında, deneyimli sürücülerin bile ilk önce dürtüsel frenleme davranışı sergilediklerini göstermiştir. Bunun en önemli sebebi, günlük hayatta dürtüsel frenleme davranışı sonucu ortaya çıkacak risklerin (örn. ani fren değişimleri sonucu hissedilen fiziksel rahatsızlık; kayma veya savrulma sonucu yoldan çıkma veya kaza yapma gibi) bilgisayar ortamında mevcut olmamasıdır. Bu nedenle Kadıhasanoğlu'nun çalışmasında (2012) olduğu gibi Deney 2'nin alıştırmaya oturumlarında, dürtüsel frenleme davranışını baskılamak için dürtüsel frenleme davranışına algısal bir bedel eklenmiştir. Kumanda kolu pozisyo-

nunda ani ve büyük değişimler olduğunda bilgisayar ekranı bir saniyelikliğine karartılmıştır. Kumanda kolunun ortadaki nötr pozisyonunda çıktısı 0'dır. Kumanda kolu nötr konumdan en geri konuma getirildiğinde kumanda kolunun çıktısı 0'dan +1000'e lineer olarak artmaktadır. Her denemede, kumanda kolunun çıktısı kare kare takip edilmiş ve iki ardışık bilgisayar karesine ait kumanda kolu çıktısı arasındaki fark belli bir eşik değerinin üzerinde olduğunda bilgisayar ekranı bir saniyelikliğine karartılmıştır. Kesintisiz frenleme davranışının sergilenmesini engellemek için kumanda kolunun küçük hareketleri esnasında ekranın kararmaması gerekmektedir. Bir başka deyişle, bilgisayar ekranını karartmak için kullanılan eşik değeri çok düşük olmamalıdır. Eşik değeri yüksek olduğunda ise dürtüsel frenleme davranışı baskılanmaktadır. Bu sebeplerden ötürü, uygun eşik değerini bulmak için farklı eşik değerleri denenmiş ve deneyde kullanılan eşik değeri 60 olarak belirlenmiştir. Ekranın karartıldığı bir saniyelik süre zarfında katılımcı nesnelere yaklaşmış olmasına rağmen hızındaki ve mesafedeki değişimi gözlemleyememiştir. Alıştırma oturumlarına başlamadan önce katılımcılar, ekran karartma uygulaması hakkında bilgilendirilmiştir. Deney 2'nin test oturumunda ekran karartma uygulamasının yapılmamasının temel sebebi görsel bilginin, davranışın kontrolünde kullanılmak üzere her an erişilebilir olmasını sağlamaktır.

### **Veri Toplama ve Analizi**

Deney 1'de olduğu gibi Deney 2'de de toplanan ham veriler, her deneme için katılımcının nesnelere olan uzaklığını gösteren zaman serilerinden oluşmaktadır. Hız, yavaşlama ivmesi, tau, tau-dot ve oransal değişim zaman serileri Deney 1'de kullanılan yöntem ile hesaplanmıştır.

Katılımcıların sabit tau-dot stratejisini kullanıp kullanmadıklarını test etmek için önce her bir kesintisiz frenleme denemesine ait ortalama tau-dot değerleri hesaplanmıştır. Bunun için tau zaman serilerinde frenin aktif olarak uygulandığı kısımlar seçilmiştir. Frenin uygulanmaya başladığı anı bulmak için yavaşlama ivmesine ait zaman serilerine bakılmıştır. Her deneme için yavaşlama ivmesine ait zaman serisindeki 0.1'den büyük olan ilk zaman noktası, o deneme için frenin uygulanmaya başladığı an olarak alınmış; tau zaman serisinin o zaman noktasından önceki kısımları analize dahil edilmemiştir. Eşik değeri olarak 0.1'in kullanılmasının sebebi kumanda kolu pozisyonundaki istemsiz hareketlerden dolayı oluşabilecek değişimlerin veri analizine dahil edilmesini önlemektir. Tau değerleri mesafenin hız bölümü ile elde edildiği için (Bkz. Formül 2) denemelerin sonunda hızın sıfıra yaklaşmasıyla tau değerlerinde sonsuza doğru hızlı bir artış gözlenmektedir (Bkz. Şekil 6). Ortalama tau-

dot değerlerini hesaplamadan önce bu değerler de tau zaman serilerinden çıkarılmıştır (Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995). Bu ön kırpma işleminden sonra her deneme için, tau zaman serisine en uygun regresyon doğrusu elde edilmiş; regresyon doğrusunun eğimi, ilgili denemenin ortalama tau-dot değeri olarak alınmıştır.

Nesnelere yaklaşma esnasında tau-dot'ın -0.5 değerinde sabit tutulup tutulmadığını incelemek için ön kırpma işleminden geçirilen tau zaman serileri üzerinde iki-yarım analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir deneme için tau zaman serisi, medyan örneklem noktası kullanılarak iki eşit parçaya bölünmüş ve her bir parça için en uygun regresyon doğrusu elde edilmiştir. Bu iki regresyon doğrusunun eğimleri ilgili denemeye ait ortalama tau-dot değerleri olarak alınmıştır. Böylece her deneme için biri denemenin ilk yarısına diğeri de denemenin ikinci yarısına ait olan iki ortalama tau-dot değeri elde edilmiştir. Bu iki ortalama tau-dot değeri ilişkili ölçümler için t testi ile karşılaştırılmıştır.

Katılımcıların kesintisiz frenleme denemelerinde oransal değişim kontrolünü kullanıp kullanmadıklarını belirlemek amacıyla kesintisiz frenleme denemelerine ait oransal değişim zaman serileri üzerinde iki-yarım analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak tau zaman serileri için kullanılan yöntem ile kesintisiz frenleme denemelerine ait oransal değişim zaman serilerinin frenin aktif olarak uygulandığı kısımları seçilmiştir. Bu ön kırpma işleminden sonra, her deneme için oransal değişim zaman serileri medyan örneklem noktası kullanılarak iki eşit kısma bölünmüş ve her bir yarım için ortalama oransal değişim değerleri hesaplanmıştır. Böylece her bir deneme için denemenin ilk yarısına ve ikinci yarısına ait olan iki ortalama oransal değişim değeri elde edilmiştir. Bu değerler ilişkili ölçümler için t testi ile karşılaştırılmıştır.

### **Bulgular**

Deney 2'yi tamamlayan on katılımcıdan dokuz tanesinin başarı oranı %75'in üzerindedir. Beş katılımcının başarı oranı %90 ve üzerinde, bir katılımcının başarı oranı ise %56 olarak hesaplanmıştır. Katılımcıların başarılı ve başarısız deneme sayıları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere Deney 1'de ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergileyen sekiz katılımcıdan sadece ikisi (Tablo 1 ve 2'de 6. ve 10. sıradaki katılımcılar) Deney 2'de ağırlıklı olarak kesintisiz frenleme davranışı göstermiştir. Bununla birlikte Deney 1'de ağırlıklı olarak kesintisiz frenleme kullanan bir katılımcı (Tablo 1 ve 2'de 5. sıradaki katılımcı) Deney 2'de ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilemiştir. Son olarak, Deney 1'de eşit sayıda dürtüsel frenleme ve ke-

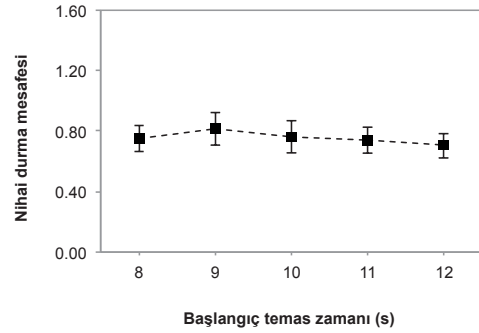
sintiz frenleme denemelerine sahip bir katılımcı (Tablo 1 ve 2'de 2. sıradaki katılımcı) Deney 2'de çoğunlukla dürtüsel frenleme stratejisi kullanmıştır. Başka bir deyişle, her ne kadar Deney 2'nin amacı kesintisiz frenleme davranışı altında yatan kontrol stratejilerini incelemek olsa da Deney 2'de on katılımcıdan sekizi ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilemiştir.

Daha önce de belirtildiği üzere, Deney 2'nin alıştırtma oturumlarında dürtüsel frenleme davranışını baskılamak için, dürtüsel frenleme davranışına algısal bir bedel eklenmiş, katılımcılar dürtüsel frenleme davranışı sergilediklerinde bir saniyelik bir ekran karartma uygulaması yapılmıştır. Ancak, deneyin test oturumunda ekran karartma uygulaması yapılmamıştır. Alıştırtma ve test oturumlarının işlem yolundaki bu farklılıktan dolayı, katılımcıların Deney 2'de ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışını sergiledikleri düşünülebilir. Ancak işlem yolundaki bu farklılık, frenleme fonksiyonunun lineer olduğu Kadihasanoğlu'nun (2012) çalışmasında da bulunmaktadır. Aynı uygulama, bir önceki çalışmamızda kesintisiz frenleme davranışını baskılamamış ve bu çalışmanın kesintisiz frenleme davranışının incelendiği bölümünde katılımcılar ağırlıklı olarak kesintisiz frenleme davranışı sergilemişlerdir (Kadihasanoğlu, 2012). Bu bulgudan hareketle, Deney 2'nin kesintisiz frenleme bölümünde katılımcıların ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilemesinin, alıştırtma ve test oturumlarının işlem yolundaki farklılıktan kaynaklanmadığı düşünülmektedir.

Deney 2'nin amacı kesintisiz frenleme davranışını incelemek olsa da, Deney 2'de dürtüsel frenleme davranışını baskılamak mümkün olmamıştır. Bu nedenle, kesintisiz frenleme denemelerinden elde edilen verilere ek olarak katılımcıların dürtüsel frenleme davranışı sergiledikleri denemelerden elde edilen veriler de analiz edilmiştir.

### Nihai durma mesafesi

Katılımcıların dürtüsel frenleme davranışı sergiledikleri denemelerdeki nihai durma mesafelerini karşılaştırmak için tekrarlı ölçümler için varyans analizi kullanılmıştır. Başlangıç temas zamanı denek içi faktör olarak alınmış; analizlerde anlamlılık düzeyi .05 olarak belirlenmiştir. Greenhouse-Geisser düzeltilmeli varyans analizi sonuçlarına göre başlangıç temas zamanının nihai durma mesafesi üzerindeki temel etkisi anlamlı bulunmamıştır ( $F(2.25, 202.25) = 1.13, p = 0.328$ ). Şekil 8'den de görüldüğü üzere, başlangıç temas zamanından bağımsız olarak katılımcıların ortalama durma mesafeleri 0.80 birim civarındadır (*Genel Ort. = 0.755, SH = .089*). Deney 1'de olduğu gibi, katılımcılar hedef nesnelere oldukça yakın bir mesafede durmuşlar ve katılımcıların durma mesafeleri başlangıç temas zamanından etkilenmemiştir.



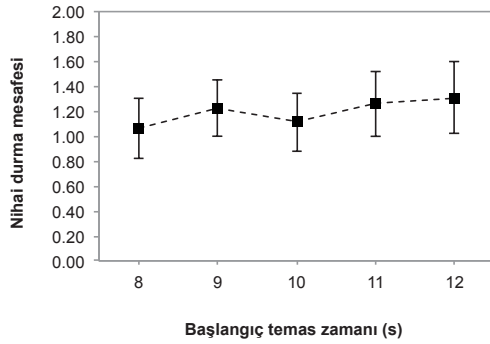
**Şekil 8.** Deney 2'nin dürtüsel frenleme denemeleri için başlangıç temas zamanına göre ortalama nihai durma mesafesi. Hata çubukları  $\pm 1$  standart hata değerini göstermektedir.

**Tablo 2.** Her Bir Katılımcının Deney 2'deki Başarılı ve Başarısız Deneme Sayıları

Cinsiyet	Yaş	Başarısız denemeler			Başarılı denemeler		
		Çarpma	Uzakta durma	Toplam	Dürtüsel frenleme	Kesintisiz frenleme	Toplam
K	20	11	1	12	59	29	88
K	19	3	-	3	66	31	97
E	19	6	-	6	77	17	94
E	22	7	-	7	91	2	93
E	20	15	-	15	51	34	85
K*	19	24	-	24	27	49	76
E*	21	13	-	13	61	26	87
K	19	10	-	10	72	18	90
K*	18	4	-	4	76	20	96
K	21	2	42	44	18	38	56

\*Daha önce hiç araba kullanmamış katılımcılar

Katılımcıların kesintisiz frenleme davranışı sergiledikleri denemelerdeki ortalama nihai durma mesafeleri Şekil 9'da görülmektedir. Durma mesafeleri üzerinde gerçekleştirilen tekrarlı ölçümlü Greenhouse-Geisser düzeltilmeli varyans analizi sonucunda, başlangıç temas zamanının durma mesafeleri üzerindeki temel etkisinin anlamlı olmadığı görülmüştür ( $F(2.30, 69.03) = 0.753$ ,  $p = 0.492$ ). Şekil 9'dan da görüldüğü üzere, başlangıç temas zamanından bağımsız olarak katılımcıların ortalama durma mesafeleri 1.2 birim civarındadır ( $Genel Ort. = 1.194$ ,  $SH = .228$ ). Kadıhasanoğlu'nun çalışmasında (2012) olduğu gibi kesintisiz frenleme denemelerindeki ortalama durma mesafeleri, dürtüsel frenleme denemelerinde gözlenenlerden biraz daha büyüktür. Buna rağmen, kesintisiz frenleme denemelerinde de katılımcılar hedef nesnelere oldukça yakın bir mesafede durmuş; katılımcıların durma mesafeleri başlangıç temas zamanından etkilenmemiştir.

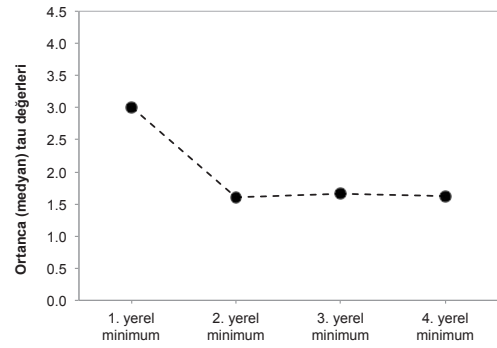


**Şekil 9.** Dene 2'nin kesintisiz frenleme denemeleri için başlangıç temas zamanına göre ortalama nihai durma mesafesi. Hata çubukları  $\pm 1$  standart hata değerini göstermektedir.

### Dürtüsel frenleme stratejisi

Dene 2'de dürtüsel frenleme davranışının sergilendiği denemelere ait tau zaman serileri incelendiğinde katılımcıların yine esnek sabit tau stratejisini (Bingham, 1995) kullanıyor olabilecekleri gözlenmiştir. Bu gözlemi test etmek amacı ile dürtüsel frenleme davranışının sergilendiği denemelere ait tau zaman serilerindeki yerel minimumlara denk gelen tau değerleri Dene 1'de kullanılan yöntemle incelenmiştir. Toplam 598 dürtüsel frenleme denemesinin sadece üç tanesinde beş adet yerel minimum bulunmaktadır. Bu sebeple sadece ilk dört yerel minimuma denk gelen tau değerleri analize dahil edilmiştir. Bu tau değerlerinin frekans dağılımları incelendiğinde, Dene 1'e benzer olarak, dört frekans dağılımının da düşük tau değerlerine doğru çarpık olduğu gözlenmiştir (sırasıyla çarpıklık değerleri 2.42, 4.45, 4.69 ve 2.48). Dolayısıyla yerel minimumlara denk gelen tau

değerlerini en iyi özetleyen ölçüm olarak ortanca kullanılmıştır. Şekil 10'da da görüldüğü üzere birinci yerel minimuma denk gelen tau değeri yaklaşık 3.0 s; diğer üç yerel minimuma denk gelen tau değerleri ise yaklaşık 1.5 s'dir. Dene 1'de olduğu gibi Dene 2'de de katılımcılar, dürtüsel frenleme davranışı sergiledikleri denemelerde esnek sabit tau stratejisini kullanmışlardır. Ancak, Dene 2'de gözlenen ortanca tau değerleri, Dene 1'de gözlenenlerden yaklaşık olarak 500 ms daha küçüktür. Bir başka deyişle, Dene 2'de dürtüsel frenleme davranışını baskılamak mümkün olmasa da, sabit tau stratejisinde kullanılan kritik tau değerleri düşmüştür.

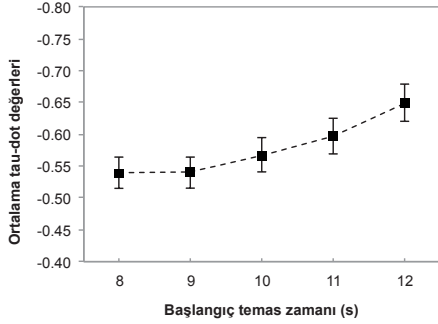


**Şekil 10.** Dene 2'nin kesintisiz frenleme denemelerine ait tau zaman serilerindeki ilk dört yerel minimuma ait ortanca tau değerleri.

### Kesintisiz frenleme stratejisi

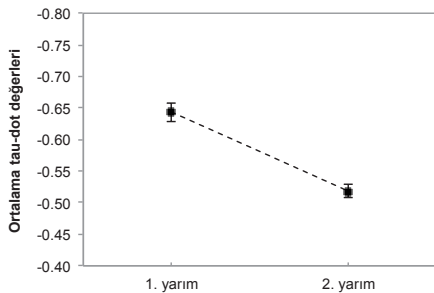
Her ne kadar Dene 2'de katılımcıların çoğu ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilese de Dene 2'nin temel amacı kesintisiz frenleme denemelerinde kullanılan stratejiyi incelemek olduğu için, kesintisiz frenleme denemelerinden elde edilen veriler de analiz edilmiştir. Önce her bir kesintisiz frenleme denemesi için ortalama tau-dot değerleri hesaplanmış; tau-dot değerlerinin genel ortalaması  $-0.58$  ( $SH = .016$ ) olarak bulunmuştur. Bu değer sabit tau-dot stratejisinin önerdiği  $-0.50$  değerine yakın olmakla birlikte bu değer altındadır. Her bir başlangıç temas zamanına ait ortalama tau-dot değerlerinin verildiği Şekil 11'de görüldüğü üzere, başlangıç temas zamanı yükseldikçe ortalama tau-dot değeri de yükselmektedir. Tekrar ölçümlü varyans analizinde, başlangıç temas zamanının ortalama tau-dot değerleri üstündeki temel etkisinin anlamlı olduğu bulunmuştur ( $F(4, 120) = 3.62$ ,  $p < 0.05$ ,  $\eta_p^2 = 0.11$ ). Bir başka deyişle, başlangıç temas zamanı değiştikçe ortalama tau-dot değeri de değişmiştir. Kısmi eta kare ( $\eta_p^2$ ) değeri incelendiğinde, başlangıç temas zamanının ortalama tau-dot değerleri üzerinde orta büyüklükte bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, nesnelere önünde başarı ile durabilmek için sabit tutulması

gereken tek bir tau-dot değeri ( $-0.5$ ) öneren sabit tau-dot stratejisi ile uyumlu değildir.



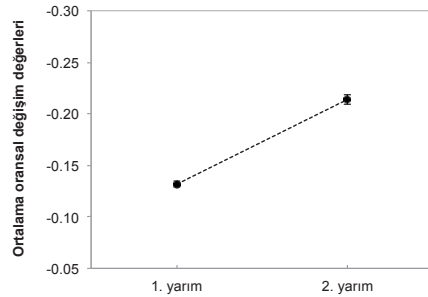
**Şekil 11.** Dene 2'nin kesintisiz frenleme denemeleri için başlangıç temas zamanına göre ortalama tau-dot değerleri. Hata çubukları  $\pm 1$  standart hata değerini göstermektedir.

Nesnelere yaklaşma esnasında tau-dot'ın yukarıda hesaplanan ortalama tau-dot değerlerinde sabit tutulup tutulmadığını incelemek için tau zaman serileri üzerinde iki-yarım analizi gerçekleştirilmiştir. Denemelerin ilk ve ikinci yarılarna ait ortalama tau-dot değerleri Şekil 12'de verilmiştir. Elde edilen ortalama tau-dot değerleri ilişkili ölçümler için t testi ile karşılaştırılmış; denemelerin ilk yarısına ait tau-dot değerleri (*Genel Ort.* =  $-0.64$ , *SH* =  $0.25$ ) ile ikinci yarısına ait tau-dot değerleri (*Genel Ort.* =  $-0.51$ , *SH* =  $0.18$ ) arasında anlamlı fark olduğu gözlenmiştir ( $t(263) = -5.92$ ,  $p < 0.001$ ,  $d = 0.34$ ). Cohen  $d$  değeri incelendiğinde, denemelerin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama tau-dot değerleri arasındaki farkın  $0.34$  standart sapma olduğu ve denemelerin ilk yarısında veya ikinci yarısında olmanın ortalama tau-dot değerleri üzerinde düşük büyüklükte bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Denemelerin ilk yarısı ve ikinci yarısına ait ortalama tau-dot değerleri arasında anlamlı fark olması, tau-dot değişkeninin nesnelere yaklaşırken sabit tutulmadığını ve değiştiğini göstermektedir. Bir başka deyişle, katılımcılar kesintisiz frenleme denemelerinde sabit tau-dot stratejisini kullanmamışlardır.



**Şekil 12.** Dene 2'deki kesintisiz frenleme denemelerinin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama tau-dot değerleri. Hata çubukları  $\pm 1$  standart hata değerini göstermektedir.

Katılımcıların kesintisiz frenleme denemelerinde oransal değişim kontrolünü kullanıp kullanmadıklarını incelemek için kesintisiz frenleme denemelerine ait oransal değişim zaman serileri üzerinde iki-yarım analizi gerçekleştirilmiştir. Denemelerin ilk yarısına ait oransal değişim değerlerinin genel ortalaması  $-0.131$  (*SH* =  $0.003$ ) iken denemelerin ikinci yarısına ait oransal değişim değerlerinin genel ortalaması  $-0.213$  (*SH* =  $0.004$ ) olarak hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 13). İlişkili ölçümler t testi sonucunda denemelerin ilk ve ikinci yarılarna ait ortalama oransal değişim değerleri arasında anlamlı bir farkın olduğu bulunmuştur ( $t(263) = 16.393$ ,  $p < 0.001$ ,  $d = 1.00$ ). Bir başka deyişle, katılımcılar kesintisiz frenleme denemelerinde nesnelere yaklaşırken oransal değişim değişkenini sabit tutmamışlardır. Cohen  $d$  değeri incelendiğinde, denemelerin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama oransal değişim değerleri arasındaki farkın bir standart sapma olduğu anlaşılmaktadır. Hesaplanan bu etki gücü, denemelerin ilk yarısında veya ikinci yarısında olmanın ortalama oransal değişim değerleri üzerindeki etkisinin büyük olduğunu göstermektedir.



**Şekil 13.** Dene 2'deki kesintisiz frenleme denemelerinin ilk ve ikinci yarısına ait ortalama oransal değişim değerleri (Hata çubukları  $\pm 1$  standart hata değerini göstermektedir.)

Nesnelere yaklaşılırken oransal değişimin sabit tutulmaması, katılımcıların oransal değişim kontrolünü kullanmadıkları anlamına gelmemektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi oransal değişim kontrolü sabit tutulduğunda çarpmadan durabilmeyi sağlayacak bir değerler aralığı sunmaktadır. Başka bir deyişle, oransal değişim değerleri bu aralıkta seyrettiği sürece sabit tutulmak zorunda değildir. Kadıhasanoğlu (2012), oransal değişim ( $-0.10$ ,  $-0.25$ ) aralığında salındığı sürece nesnelere önünde çarpmadan durulabildiğini göstermiştir. Dene 2'de elde edilen ortalama oransal değişim değerleri ( $-0.13$  ve  $-0.21$ ) bu aralıkta bulunmaktadır. Dolayısıyla, Dene 2'den elde edilen bulgular, katılımcıların kesintisiz frenleme denemelerinde esnek oransal değişim kontrolünü kullandıklarını destekler niteliktedir.

Bir başka deyişle, katılımcılar, oransal değişimi belli bir aralıkta sınırlamışlar, ancak bu aralıkta bir değerde sabit tutmamışlardır.

### Tartışma

Çarpmadan hafif temas kurmak amacıyla nesnelere yaklaşmak olarak tanımlanan yaklaşma hızının görsel kontrolü, başarı ile gerçekleştirdiğimiz davranışlardan biridir. Duyu organları yolu ile elde edilen bilgilerin hareketin kontrolünde nasıl kullanıldığını açıklamak amacıyla Gibson tarafından geliştirilen algı/harekete bilgi-temelli yaklaşma göre, bu davranış, optik akış içerisindeki göreve özgü bilgi sağlayan optik değişkenlerin kullanıldığı kontrol stratejileri neticesinde ortaya çıkar (Gibson, 1950, 1966, 1979/1986). Bu çalışmada, “seyir halindeyken yol üzerindeki bir engele çarpmadan yavaşlayarak durma” görevi bağlamında, yaklaşma hızının kontrolünde kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejileri ile taşıt dinamiklerinin bu kontrol stratejileri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Böyle bir görev ile karşılaşıldığında insanlar dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme olmak üzere iki tür davranış gösterirler. Bu çalışmanın amacı, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında dürtüsel frenleme ve kesintisiz frenleme davranışlarında kullanılan optik değişkenler ve kontrol stratejilerinin nasıl değiştiğini incelemektir. Bu çalışma, frenleme fonksiyonunun davranış üzerindeki etkilerinin incelendiği alanyazındaki ilk çalışmalardan biridir.

Sadece yavaşlamanın mümkün olduğu durumda lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında dürtüsel frenleme davranışının nasıl etkilendiğinin incelendiği Deney 1’in bulguları, dürtüsel frenleme davranışının esnek sabit tau stratejisi kullanılarak gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bir başka deyişle, katılımcılar hızlarındaki değişimi tau değişkeni belli bir kritik değerin altına düşmeyecek şekilde ayarlamışlardır. Katılımcıların kritik tau değeri olarak, denemelerin başında 3.7 s’yi, denemelerin sonuna doğru ise ve 2 s’yi kullandıkları gözlenmiştir. Deney 1’de elde edilen kritik tau değerleri, lineer bir frenleme fonksiyonunun kullanıldığı Kadıhasanoğlu’nda (2012) rapor edilen değerlere (3.5 s ve 2 s) çok yakındır (ayrıca bkz. Kadıhasanoğlu ve ark., 2021). Bu verilerden hareketle, frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme davranışı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ve bu davranışı değiştirmede yardımcı olmadığıdır. Diğer bir ifadeyle, frenleme fonksiyonu dürtüsel frenleme davranışın kontrolünde kullanılan optik değişkeni, kontrol stratejisini ve bu kontrol stratejisi içerisinde kullanılan kritik optik değişken değerlerini değiştirmemiştir.

Deney 2’de lineer olmayan bir frenleme fonksiyonunun kesintisiz frenleme davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Lineer bir frenleme fonksiyonunun kullanıldığı Kadıhasanoğlu’nun (2012) aksine, Deney 2’de dürtüsel

frenleme davranışını baskılamak mümkün olmamıştır. Bir başka deyişle, Deney 2’de katılımcılar ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilemişlerdir. Bu bulgudan hareketle, lineer olmayan frenleme fonksiyonunun kesintisiz frenleme davranışını engellediği ve dürtüsel frenleme davranışını pekiştirdiği söylenebilir. Diğer bir ifadeyle, frenleme fonksiyonu lineer olduğunda davranışın kontrolünde ağırlıklı olarak oransal değişim optik değişkeni kullanılırken, frenleme fonksiyonu lineer olmadığına davranış çoğunlukla tau optik değişkeni kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Lineer olmayan frenleme fonksiyonunun kesintisiz frenleme davranışını neden baskıladığı şu şekilde açıklanabilir. Frenleme fonksiyonu lineer olmadığına, az fren uygulandığı zaman (yani, kumanda kolu nötr pozisyonundan geriye doğru biraz çekildiğinde) elde edilen yavaşlama ivmesi çok düşüktür (Bkz. Şekil 2). Yavaşlama ivmesinin, maksimum yavaşlama ivmesi olan 2.1 birim/s<sup>2</sup>’nin yarısı bir değere ulaşması için kumanda kolunun neredeyse sonuna kadar çekilmesi, frene neredeyse sonuna kadar basılması gerekmektedir. Bu durum, frenin kesintisiz bir şekilde kontrol edilmesini güçleştirmekte ve böylelikle dürtüsel frenleme davranışını pekiştirmektedir.

Deney 1 ile uyumlu olarak Deney 2’nin bulguları da dürtüsel frenleme davranışının esnek sabit tau stratejisi kullanılarak sergilendiğini göstermektedir. Deney 2’de katılımcıların kullandıkları kritik tau değerleri 3.0 s ve 1.5 s olarak bulunmuştur. Bu değerler Deney 1’de gözlenen kritik tau değerlerinden yaklaşık 500 ms daha düşüktür. Bu verilerden hareketle, Deney 2’nin alıştırma oturumlarının dürtüsel frenleme davranışını baskılayamadığı; ancak sabit tau stratejisinde kullanılan kritik tau değerlerini düşürücü bir etki yarattığı söylenebilir. Deney 2’de gözlenen kritik tau değerlerindeki yaklaşık 500 ms’lik düşüş deneyim ile açıklanabilir. Katılımcılar, deneyim kazandıkça bir anlamda daha risk alan sürücü olmuş ve frene daha düşük tau (yani, nesne ile temas zamanı) değerlerinde basmaya başlamışlardır.

Deney 2’de, kesintisiz frenleme davranışının sergilendiği görece az sayıda denemeden elde edilen veriler incelendiğinde, katılımcıların oransal değişim değişkeninin değeri (-0.10, -0.25) aralığında kalacak şekilde hızlarını azalttıkları gözlenmiştir. Bir başka deyişle, Deney 2’de kesintisiz frenleme davranışı sergilenen denemelerden elde edilen veriler, kesintisiz frenleme davranışının esnek oransal değişim kontrolü kullanılarak gerçekleştirildiği hipotezini destekler niteliktedir.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmanın ilgili alanyazına yaptığı katkılar şu şekilde özetlenebilir. Öncelikle, çalışmada lineer olmayan bir frenleme fonksiyonunun dürtüsel frenleme davranışı üzerinde anlamlı bir niteliksel etkisinin olmadığı bulunmuştur. Bir başka deyişle, frenleme fonksiyonu dürtüsel frenleme davranışını değiştirmemektedir.

Çalışmada, ayrıca lineer olmayan bir frenleme fonksiyonunun kesintisiz frenleme davranışını baskıladığı ve dürtüsel frenleme davranışını pekiştirdiği bulunmuştur. Ani fren değişimleri sonucu hissedilen fiziksel rahatsızlık, kayma veya savrulma sonucu yoldan çıkma veya kaza yapma gibi risklerinin deney ortamında olmayışı çalışmanın bir kısıtlaması olarak düşünülebilir. Bir başka deyişle, bu tür risklerin deney ortamında olmayışının dürtüsel frenleme davranışını pekiştiren bir diğer etken olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, benzer risklerin deney ortamında yine olmadığı ve lineer bir frenleme fonksiyonun kullanıldığı Kadıhasanoğlu'nun (2012) çalışmasında dürtüsel frenleme davranışı baskılanabilmiş ve katılımcıların kesintisiz kontrol davranışı sergiledikleri gözlemlenmiştir. Kadıhasanoğlu (2012) ve bu çalışma arasındaki en temel farkın frenleme fonksiyonu olduğu düşünüldüğünde, bu çalışmada dürtüsel frenleme davranışını pekiştiren en temel sebebin frenleme fonksiyonu olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, lineer olmayan bir frenleme fonksiyonu kullanıldığında ağırlıklı olarak dürtüsel frenleme davranışı sergilenmektedir.

Alanyazındaki diğer çalışmalar ile birlikte (Kadıhasanoğlu, 2012; Kadıhasanoğlu ve ark., 2021; Yılmaz ve Warren, 1995) bu çalışmanın bulguları da kullanılan görsel bilginin davranışı etkilediği; diğer bir ifade ile, farklı davranışları gerçekleştirmek için farklı optik değişkenlerin kullanıldığı ve farklı davranışların altında, kullanılan optik değişkenlere bağlı olarak farklı kontrol stratejilerinin yattığı hipotezini destekler niteliktedir. Bu çalışmanın bulguları görsel bilgiye ek olarak, frenleme fonksiyonu gibi taşıt dinamiklerinin de davranışı etkilediğini göstermektedir. Otomatik sürüş ve sürüş destek sistemlerinin giderek önem kazandığı günümüzde mevcut çalışmanın bulgularının, bu sistemlerin tasarımı ve üretimi ile ilgili etkileri olabilir. Çalışmanın sonuçları ışında, otomatik sürüş ve sürüş destek sistemleri tasarlanırken bu sistemlerin özelliklerinin, sürücü davranışı üzerindeki etkilerinin ve sürücü davranışını nasıl değiştireceğinin kapsamlı bir şekilde araştırılması önerilebilir. Özellikle, aracın kontrolünün sistemden sürücüye devr olduğu zamanlarda sistemin özelliklerinin sürücü davranışı üzerinde kritik etkileri olabileceği düşünülmektedir.

Frenleme fonksiyonuna ek olarak taşıt dinamiklerinin bir diğer önemli bileşeni azami fren kapasitesidir. Çalışmanın bulgularından hareketle azami fren kapasitesinin de davranış üstünde etkileri olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, azami fren kapasitesinin sistematik olarak değiştiği araştırmalar ile fren kapasitesinin davranış üzerindeki etkilerinin incelenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Gelecekte böyle çalışmalar yürütüldüğü takdirde taşıt dinamiklerinin davranış üzerindeki etkileri daha kapsamlı ve bütüncül bir biçimde incelenmiş olacaktır.

## Kaynaklar

- Anderson, J. ve Bingham, G. P. (2010). A solution to the online guidance problem for targeted reaches: Proportional rate control using relative disparity  $\tau$ . *Experimental Brain Research*, 205, 291–306.
- 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.
- Bardy, B. G. ve Warren, W. H. (1997). Visual control of braking in goal-directed action and sport. *Journal of Sports Sciences*, 15, 607–620.
- 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.
- 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.
- Gibson, J. J. (1950). *The Perception of the Visual World*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1966). *The Senses Considered as Perceptual Systems*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J.J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. (Özgün eser 1979 yılında basılmıştır).
- Kadıhasanoğlu, D. (2012). *An Evolutionary Robotics Approach to Visually-Guided Braking: Data and Theory*. Yayınlanmamış doktora tezi, Indiana University Bloomington, Indiana, USA.
- Kadıhasanoğlu, D., Beer, R. D., Bingham, N., & Bingham, G. P. (2021). Control of visually guided braking using constant- $\tau$  and proportional rate. *Experimental Brain Research*, 239(1), 217–235. <https://doi.org/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, 437–459.
- Regan, D. ve Hamstra, S. J. (1993). Dissociation of discrimination thresholds for time to contact and for rate of angular expansion. *Vision Research*, 33(4), 447–462.
- Todd, J. T. (1981). Visual information about moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 795–810.
- Yılmaz, E. H. ve Warren, W. H. (1995). Visual control of braking: A test of the  $\tau$  hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 996–1014.



## Summary

# Visually-Guided Braking: The Optical Variables, Control Strategies and the Effect of Vehicle Dynamics

Didem Kadıhasanoğlu<sup>1</sup>

TOBB University of Economics & Technology

This work aims to investigate the effect of a non-linear braking function on the optical variables control strategies used in visually-guided braking in the context of a driving-like braking task, i.e., the task of slowing down from high speed to stop before reaching an obstacle in the path of motion. Given such a task, humans exhibit two different braking behaviors: impulsive braking and continuously regulated braking (Yılmaz and Warren, 1995). In impulsive braking, the brake is used in an on-or-off fashion. In continuously regulated braking, the brake is applied continuously. It can be increased or decreased but once it is applied it is never released completely. In this work two experiments were designed to investigate the effect of braking function on the optical variables and control strategies used in impulsive braking and continuously regulated braking.

The relative motion between an observer and his/her environment creates an optical motion at the eye of the observer, which is called the optic flow (Gibson, 1979/1986). The optic flow provides a rich and continuous source of information about the three dimensional structure of the environment, the motion of the observer in the environment, and also, the motion of the objects in the environment. As the observer moves in the environment, the optic flow changes. However, there are some patterns in the optic flow that are preserved in an otherwise changing optic flow. These patterns are called optical variables.

In the case of a driving-like braking task used in this study, there are three optical variables that could in principle be used to control braking. The first optical variable is tau, which specifies time-to contact with the objects in the environment (Lee, 1976). Bingham (1995) suggests that to stop successfully at an object, the observer should move so as to keep tau constant a value, magnitude of which depends on the initial conditions and maximum brake capacity. This strategy is called the strict constant tau strategy. There is also a weak version

of the constant tau strategy, in which the optical variable tau is used to initiate braking. In other words, the brake is initiated whenever tau reaches a critical value, magnitude of which again depends on the initial conditions and the maximum brake capacity. The strict version of this strategy results in continuously regulated braking whereas the weak version gives rise to impulsive braking.

The second optical variable that could be used to control braking is tau-dot, which is the first time derivative of tau (Lee, 1976). Tau-dot provides information about whether the current deceleration is enough to stop safely at the object. The constant tau-dot strategy proposed by Lee (1976) suggests that the observer should move so as to keep tau-dot at  $-0.5$  stop at the object.

The third optical variable that could be used in visually-guided braking is proportional rate, which is mathematically equal to tau divided by tau-dot (Anderson and Bingham, 2010). Anderson and Bingham (2010, 2011) suggest that visually-guided braking is achieved by using proportional rate control. Unlike the optical variable tau, which only offers a single value of  $-0.5$  for successful braking, the optical variable proportional rate offers a range of values that could be kept constant for successful braking. There are two versions of the proportional rate control. The strict version suggests that to stop successfully at the object, the observer should move so as to keep the proportional rate constant at a certain value within this range. The weak version suggests that as long as the proportional rate values stay within this range, the proportional rate does not have to be kept constant.

Kadıhasanoğlu (2012) suggests that when the braking function is linear the impulsive braking is achieved by using the weak version if the constant tau strategy. In other words, humans use the optical variable tau to initiate braking. They observed two critical tau values the first braking was initiated when tau reaches about 3.5 s. After that, the brake is initiated whenever tau reaches 2 s.

Kadıhasanoğlu (2012) also suggests that when the braking function is linear, the continuously regulated braking is achieved by using the proportional rate control. They observed two groups of participants. The participants in the first group used the strict proportional rate control: they kept proportional rate constant at a certain value. The participants in the second group did not keep proportional rate constant at a certain value but they kept it within a range, boundaries of which were determined by the initial conditions and the maximum brake capacity.

In the light of these findings, the aim of the present study is to investigate how a nonlinear braking function affects the optical variables and the control strategies used in impulsive braking and continuously regulated braking.

### Experiment 1: Impulsive Braking

The aim of Experiment 1 was to investigate the effect of a nonlinear braking function on the optical variables and control strategies used in impulsive braking.

## Methods

### Participants

10 university students (six female and four male) participated in the experiment. The mean age was 19.80 with a standard deviation of 1.23.

### Sessions

Each participant completed three training sessions and one test session. The aim of the training sessions was to familiarize the participants to the experimental set-up and the brake used in the experiment.

### Stimulus and Procedure

On a computer screen, participants saw a simulated three-dimensional environment, which had three target objects that were placed next to each other at a distance. The target objects were similar to traffic signs. Each trial started with a constant velocity approach to the targets. The task of the participants was to stop as close as possible to the targets using a joystick attached to the computer as a brake. Then output of the joystick was converted to deceleration using the nonlinear function given in Formula 1. Five initial time-to-contact values (8.0 s, 9.0 s, 10.0 s, 11.0 s ve 12.0 s) were crossed with five initial distances (96.0 birim, 106.0 birim, 116.0 birim, 126.0 birim ve 136.0 birim) to get 25 different initial conditions. Each initial condition was presented four times, giving rise to 100 trials, which were presented randomly.

### Data Analysis

For each trial, the raw data collected in the experiment consisted of the time series of the distance val-

ues to the targets during that trial. The time series of the velocity, deceleration, tau, tau-dot and proportional rate were calculated by using numerical differentiation and the formulas given in Formula 2 and Formula 3. To test whether the optical variables were kept constant, the split-half analysis were used.

## Results

The results of Experiment 1 showed that participants used the weak version of constant tau strategy in impulsive braking. The critical tau values used were found to be 3.7 s and 2.0 s. There values are very close to the values observed in Kadıhasanoğlu (2012). Based on these findings, Experiment 1 suggests that a nonlinear braking function does not have an effect (or change) on the impulsive braking behavior.

### Experiment 2: Continuously Regulated Braking

The aim of Experiment 2 was to investigate the effect of a nonlinear braking function on the optical variables and control strategies used in continuously regulated braking.

### Participants

The same university students who participated in Experiment 1 also participated in Experiment 2.

### Sessions

Each participant completed five training sessions and one test session. The aim of the training sessions was to familiarize the participants to the experimental set-up and the brake used in the experiment.

### Stimulus and Procedure

The stimulus and the procedure used in Experiment 2 was the same as those used in Experiment 1, with one exception. To discourage impulsive braking behavior, in Experiment 2, the computer screen went black for one second when the participant used the brake impulsively, i.e., when the change in joystick position in two successive frames was greater than a certain threshold value.

### Data Analysis

The analysis methods used in Experiment 2 were the same as those used in Experiment 1.

## Results

The results of Experiment 2 showed that when a nonlinear braking function was used participants used predominantly impulsive braking. In other words, a non-

linear braking function inhibits continuously regulated braking and reinforces impulsive braking. Impulsive braking behavior was achieved by using the weak version of the constant tau strategy. The critical tau values used in Experiment 2 were 3.0 s and 1.5 s.

### **General Discussion**

The aim of this study was to investigate the effects of the braking function on the optical variables and control strategies used in visually-guided braking, using a driving-like braking task. Given such a task, humans exhibit two different braking behaviors: impulsive braking and continuously regulated braking. Two experiments were conducted to investigate how a nonlinear braking function affects the optical variables and control strategies used in impulsive braking and continuously regulated braking, respectively. In both experiments, the braking function was modeled with an exponential growth function.

The results of Experiment 1 revealed that, when braking function was nonlinear, the weak version of constant tau strategy was used to control braking in impulsive braking. The results of Experiment 2 indicated that when braking function was nonlinear it was not possible to inhibit impulsive braking behavior. Even though the aim of Experiment 2 was to investigate continuously regulated braking behavior, the participants exhibited predominantly impulsive braking in Experiment 2. They used the weak version of the constant tau strategy.

Taken together the results of the present study indicate that a nonlinear braking function does not effect and/or change the impulsive braking behavior. However, it inhibits continuously regulated braking and reinforces impulsive braking. When braking function is nonlinear, people tend to use the optical variable tau and the weak constant tau strategy to control deceleration.

The reason why a nonlinear braking function suppresses the continuous braking behavior can be explained as follows. When the braking function is nonlinear, the deceleration obtained will be very low if brake is applied lightly. In order for deceleration to reach half of the maximum deceleration, it is necessary to apply almost full brake. This makes it difficult to control the brake continuously, thereby reinforcing impulsive braking behavior.