

# Bilişsel Psikolojide Bilgisayar Temelli Davranışsal Deneyler Tasarlanırken, Uyarıcı Sunumu ve Tepki Zamanı Ölçümünde Yaşanan Zamanlama Sorunları

Osman İyilikci

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

## Özet

Günümüzde bilişsel psikoloji alanındaki deneylerin çoğu bilgisayar ortamında tasarlanmaktadır. Bilgisayar temelli davranışsal deneyler tasarlanırken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, bu tür deneylerin zamanı uygun şekilde ölçebiliyor olmasıdır çünkü tepki hızı ölçümü, kısa süreli uyarıcı sunumu ve hareketli uyarıcıların gösterilmesi gibi bazı işlemler hem milisaniye düzeyinde hassas zamanlamayı hem de zamanlama ölçümünün doğru yapılmasını gerektirmektedir. Bu yazının amacı, zamanlama sorunlarını ele alan çalışmaları derlemek ve buradan hareketle, farklı zamanlama sorunlarına getirilen çözüm önerilerini özetleyerek, konu ile ilgilenen araştırmacılara sunmaktır.

**Anahtar kelimeler:** Zamanlama doğruluğu, tepki zamanı, bilgisayar temelli davranışsal deneyler

## Abstract

In contemporary psychological research, most of the behavioral experiments are designed in a computerized environment. One essential issue that should be observed while designing computer based experiments is that, these experiments must be capable of measuring time properly since some procedures such as registering reaction time data, presenting short-duration stimulus and displaying animated objects necessitate both millisecond precision timing and accurate time measurement. The aim of this paper is to review studies concerning timing accuracy and provide researchers with the summary of recommended solutions for minimizing several timing problems.

**Keywords:** Timing accuracy, reaction time, computer based behavioral experiments

**Yazar notu:** Yazar, yararlı önerilerinden dolayı makalenin danışmanlarına teşekkür etmektedir.

**Yazışma Adresi:** Dr. Öğr. Üyesi Osman İyilikci, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü, Muradiye Kampüsü, Manisa.

**E-posta:** osman.iyilikci@hotmail.com

**Gönderim Tarihi:** 13.11.2017

**Kabul Tarihi:** 14.04.2018

Günümüzde, bilişsel psikoloji alanında yürütülen deneylerin çoğu bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Bu tür deneyler hazırlanırken dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, bu deneylerin zamanlama ölçümünü doğru bir biçimde yapabiliyor olmasıdır. Tepki hızı kaydı, kısa süreli uyarıcı sunumu ve animasyon olarak adlandırılabilir hareketli uyarıcıların gösterilmesi gibi durumlar hem milisaniye düzeyinde zamanlama çözünürlüğünü, hem de zamanlama ölçümünün hatasız bir biçimde yapılabilmesini gerektirmektedir (tartışma için bkz. Plant, 2016; Plant ve Quinlan, 2013). Bu nedenle, zamanlama ölçümünün hatasız yapılabilmesi ile ilgili konular, araştırma yöntemleri ve enstrümantasyon literatüründe sıkça ele alınmaktadır. Söz konusu literatürde, zamanlama ile ilgili olarak, çoklu görev ortamının (*multitasking environment*) zamanlama doğruluğuna (*timing accuracy*) etkisi, farklı girdi aygıtlarının (*input device*) zamanlama hatası miktarları, üst düzey (*high-level*) programlama dilleri kullanılarak zamanlama doğruluğunun nasıl sağlanacağı ve zamanlama doğruluğunun ölçülmesi gibi, zamanlama doğruluğuna ilişkin farklı sorunlara ve bu sorunların çözümlerine değinilmektedir.

Deneylerde zamanlama doğruluğunun nasıl sağlanacağı konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır (örn. Chambers ve Brown, 2003; Finney, 2001; Graves ve Bradley, 1987; Segalowitz ve Graves, 1990), ayrıca zamanlama probleminin önemine dikkat çeken makaleler de yayınlanmıştır (Plant, 2016; Plant, Hammond ve Whitehouse, 2002; Plant ve Quinlan, 2013). Bununla birlikte, yapılan taramada görüldüğü kadarıyla (ULAK-BİM ve WOS veri tabanlarında yapılan tarama) bilgisayar temelli deneylerdeki uyarıcı sunumu ve tepki hızı ölçümü ile ilgili farklı türdeki zamanlama sorunlarına getirilen yayınlanmış çözümler önerilerini bir arada derleyen bir yazıya rastlanmamıştır. Bu bağlamda bu yazının amacı, laboratuvar ortamında yürütülmek üzere tasarlanan deneylere ait zamanlama doğruluğu ile ilgili olarak yapılan çalışmaları derlemek ve bu derlenen çalışmalardan hareketle, farklı zamanlama sorunlarına getirilen çözüm önerilerini özetleyerek, konu ile ilgilenen araştırmacılara sunmaktır.

Bu yazıda değinilen çalışmaların bir kısmı oldukça eski tarihlidir, bir kısmı ise daha güncel çalışmalardır. Bu noktada, 70'li ve 80'li yıllar gibi oldukça eski tarihlerde yayınlanmış yazılarda bahsedilen zamanlama doğruluğu sorunları, günümüz bilgisayarların performansı düşünüldüğünde hala geçerli midir, dolayısıyla eski tarihli çalışmalarda bahsedilen çözüm önerilerini kullanmak bugün gerekli midir sorusu akla gelebilir. Bunun yanıtı, birkaç nedenden dolayı, "evet" olmalıdır. Bu nedenlerden birincisi, benzer zamanlama sorunlarının, gerekli önlemler alınmadığında, 2000'li yıllardaki bilgisayarlarda da yaşandığına dair çok sayıda çalışma yapılmış olmasıdır

(örn. Garaizar, Vadillo, López-de-Ipiña ve Matute, 2014; Plant ve Turner, 2009). Bir diğeri, bilgisayarların performansı arttıkça, işletim sistemlerinin karmaşıklaşması, dolayısıyla çoklu görevlerin artması ve deneylerde zamanlama işlemlerinin bu durumdan olumsuz etkilenmesidir (Plant, 2016, Plant ve Quinlan, 2013). Hatta Plant, zamanlama ölçümlerinin doğruluğu ile ilgili sorunların bugün, geçmiştekine göre daha yaygın olduğunu belirtmiştir. Plant'a göre "doğruluk azalmaya devam etmiş fakat bilgisayarlar daha hızlı ve yaygın hale geldikçe, donanımın güvenimiz ve doğruluk algımız artmıştır." (Plant, 2016, s. 408).

Buradan hareketle, bu yazıda hem eski tarihli öneriler gözden geçirilmiş (programlama paradigmaları ve kişisel bilgisayarların temel mimarisi pek değişmediği için, daha eski araştırmalarda sunulan önerilerin çoğu bugün de kullanılabilir), hem de daha güncel araştırmalar derlenmiştir. Bu amaçla, yukarıda adı geçen, zamanlama doğruluğu ile ilgili sorunlar, yazının devamında ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Yazının "zamanlama doğruluğunu artırmaya yönelik öneriler" başlığı altında ise, zamanlama sorunlarının çözümü için önerilen yaklaşımlar özetlenmiştir.

### **Çoklu Görev Ortamının Zamanlama Doğruluğuna Etkisi**

Yapılan bazı çalışmalarda, Windows işletim sistemine ait çoklu görev ortamının, deneylerde hassas zamanlama ölçümünü engellediği belirtilmiştir (örn. Myers, 1998, Myers, 1999). Bununla tutarlı biçimde birçok çalışmada da, çoklu görev ortamı kullanmayan MS-DOS işletim sisteminin, bilgisayar temelli davranışsal deneylerde hassas zamanlamaya izin verdiği bulunmuştur. Örneğin takistoskopik (*tachistoscopic*) uyarıcı sunumu için zamanlama hassasiyetini DOS işletim sistemi kullanarak sağlamak mümkündür (Graves ve Bradley, 1988; Segalowitz, 1987; Warner ve Martin, 1999). Benzer şekilde tepki zamanı kaydına ilişkin zamanlama hassasiyetinin de MS-DOS işletim sisteminde çalıştırılan deneylerde elde edilebileceği rapor edilmiştir (Bovens ve Brysbaert, 1990; Graves ve Bradley, 1987; Warner ve Martin, 1999).

Her ne kadar MS-DOS gibi işletim sistemlerinin sadeliğinin zamanlama hassasiyetine ilişkin sağladığı avantaj ve Windows gibi çoklu görev ortamı gerektiren işletim sistemlerinin zamanlama ölçümünde neden olduğu zorluk aşıkarsa da, Windows işletim sisteminde çalışan bilgisayar temelli deneylerin, uygun koşullar altında, uyarıcı sunumu için yeterli düzeyde zamanlama doğruluğuna ve milisaniye düzeyinde zamanlama çözünürlüğüne sahip olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Chambers ve Brown, 2003; Forster ve Forster, 2003; Stevens, Lammertyn, Verbruggen, ve Vandieren-

donck, 2006). Uyarıcı sunumuna ek olarak, tepki kaydı söz konusu olduğunda da uygun yapılandırmaya sahip, Windows işletim sistemi ile çalışan bilgisayarlarda yeterli düzeyde zamanlama doğruluğu sağlanabilmektedir; şöyle ki, tepki kaydı için kullanılan donanımlara ait tepki zamanı kaydı gecikmesine, Windows nedeniyle eklenen gecikme ihmal edilebilir (birkaç milisaniye [ms]) düzeydedir (Plant, Hammond ve Whitehouse, 2003). Çeşitli girdi donanımlarıyla gerçekleştirilen tepki zamanı kaydında iki nedenden dolayı gecikme yaşanmaktadır. Bunlardan biri, donanımın, işletim sisteminden bağımsız olarak, bilgisayara sinyali iletme süresinden kaynaklanan gecikmedir. Diğeri ise işletim sisteminin veri kaydetmesi sırasında yaşanan, işletim sisteminin çoklu görev ortamının neden olduğu gecikmedir. Burada bahsedilen, yani uygun koşullarda ihmal edilebilir olduğu söylenen, Windows kaynaklı olan gecikmedir (diğer, donanım kaynaklı gecikmeye yazının ilerleyen bölümlerinde değinilmiştir).

Günümüzde psikoloji deneylerinin hemen hepsinin çoklu görev ortamı gerektiren işletim sistemleri üzerinde çalıştırıldığı düşünüldüğünde, bu tür işletim sistemlerinin hangi koşullar altında zamanlama doğruluğu sağladığının, araştırmacıların edinmesi gereken önemli bir pratik olduğu söylenebilir. Yazının sonuç bölümündeki önerilerde hangi koşullar altında, çoklu görev ortamı gerektiren işletim sistemlerinin zamanlama doğruluğu sağlayabileceğinin ayrıntıları verilmiştir.

Son olarak, çoklu görev ortamının zamanlama doğruluğuna etkisi ile ilgili olarak değinilmesi gereken bir nokta da, çoklu görev ortamına sahip işletim sistemlerinden kastedilen şeyin sadece Windows olmadığıdır. Her ne kadar bu makalede genellikle Windows işletim sistemleri altında elde edilen verileri yayınlayan çalışmalar derlenmiş olsa da (çünkü literatürün ağırlığı bu yöndedir), Windows için geçerli olan zamanlama sorunları Linux ve Mac OS gibi çoklu görev ortamına sahip diğer işletim sistemleri için de geçerlidir (örn. Li, Liang, Kleiner ve Lu, 2010; Macinnes ve Taylor, 2001). Ayrıca Windows dışındaki çoklu görev ortamına sahip işletim sistemlerinde de, uygun koşullar altında, bilgisayar temelli deneyler için yeterli düzeyde zamanlama doğruluğunu sağlamanın mümkün olduğunu vurgulamakta yarar var (örn. Linux için bkz. Finney, 2001).

### **Farklı Girdi Donanımlarının Zamanlama Doğruluğuna Etkisi**

Klavye ve fare gibi sık kullanılan standart girdi donanımları, gerçekleştirilen girdiyi, yani katılımcı tepkisini bilgisayara iletirken belirli bir gecikme ile bu işlemi uygulamaktadır. Dolayısıyla bu gecikme, deney sırasında gerçekleştirilen tepki zamanı kaydının doğruluğunu olumsuz yönde etkilemektedir (Bu gecikmenin birden

fazla kaynağı vardır. Yazının kapsamı dışında olduğu için bu kaynaklara değinilmemiştir, toplam gecikmenin farklı kaynaklarına ilişkin ayrıntılı bilgi için bkz. Li, Liang, Kleiner ve Lu, 2010). Ayrıca zamanlama doğruluğunun, kullanılan girdi donanımı tarafından ne kadar etkilendiğini her girdi donanımı için ayrı ayrı hesaplamak gerekmektedir. Bunun nedenleri arasında, farklı donanım türlerinin tepki iletme gecikmesinin farklı düzeyde olması, aynı donanım türüne ait farklı bağlantı türlerinin (USB, PS/2 vs.) ve farklı markaların gecikme miktarlarının farklı olması, hatta aynı markanın farklı serilerde ürettiği donanımların gecikme miktarlarının farklı olması yer almaktadır (örn. Plant ve ark., 2003). Bu nedenle, tepki zamanı kaydı yapılan bilgisayar temelli deneylerde araştırmacıların hangi donanımın ne düzeyde bir gecikmeye neden olduğu konusunda bilgi sahibi olması gerekmektedir. Buradan hareketle aşağıda, tepki kaydı için sık kullanılan donanımların zamanlama gecikmeleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir. Klavye ve fare gibi standart girdi donanımlarının dışında deneylerde tepki kaydı için tepki kutuları (*response box*), paralel porta bağlanan donanımlar ve oyun portuna bağlanan donanımlar da sık kullanılmaktadır. Aşağıda bu donanımların da ayrıntısına değinilmiştir.

### **Bilgisayar Faresi ve Bilgisayar Klavyesi**

Plant ve arkadaşları (2003), çok sayıda bilgisayar faresini, hem işletim sisteminden bağımsız olarak donanım düzeyinde, hem de Windows ortamında, tepki zamanı deneyi kullanarak test etmişlerdir. Araştırmacılar hem farklı markaları, hem de PS/2, USB ve seri bağlantılı fareleri karşılaştırmışlardır. Plant ve arkadaşlarının yaptıkları ölçümler sonrasında vardığı sonuç, Windows işletim sisteminin, uygun koşullar altında, farenin tepkiyi iletmesinde yaşanan gecikmeye olan katkısının ihmal edilebilir düzeyde olduğudur. Bununla birlikte araştırmada, bilgisayar farelerinin işletim sisteminden bağımsız olarak neden olduğu gecikmeye ilişkin varılan sonuç, hem farklı markaların, hem farklı bağlantı türlerinin, hem de aynı markanın, farklı serilerde üretilen ürünlerinin arasında, tepki gecikmesi açısından büyük farklılıklar olduğu yönündedir. Daha açık ifade etmek gerekirse, bazı markalar için PS/2 bağlantılı fare en az gecikmeye neden olurken, bazı markalarda USB bağlantılı fare daha az gecikmeye neden olmaktadır. Ayrıca aynı markanın, farklı serilerde üretilen ürünlerinde de (donanımın dış görünümü tamamen aynı olsa bile), hangi bağlantı türünün daha az gecikmeye neden olacağı açısından farklılıklar bulunmuştur. Söz konusu çalışmanın sonuçlarına göre, farelerin neden olduğu tepki gecikmesi farklı bağlantı türleri, farklı markalar veya aynı markanın farklı serilerde üretilen ürünlerine göre 6.55 ile 61.60 ms arasında değişmektedir. Bu bulgular sonucunda Plant ve arkadaşları, hangi

farenin en az gecikmeye neden olduğuna ilişkin olarak, belirli bir markanın ve belirli bir bağlantı türünün önerilmesinin o kadar da kolay olmadığını belirtmişler ve tepki zamanı kaydı için, tepki kutularının kullanılmasının daha iyi bir seçenek olduğunu vurgulamışlardır.

Yapılan çalışmalar, bilgisayar farelerine benzer şekilde, klavyelerin de ister USB, ister PS/2, ister de seri bağlantılı olsun, hem önemli miktarda gecikmeye neden olduklarını, hem de bu gecikmenin farklı klavyeler arasında oldukça değişkenlik gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Plant ve arkadaşlarının (2003) yaptığı çalışmada test edilen PS/2 bağlantılı klavyenin neden olduğu gecikme 28.25 ms'dir. Neath, Earle, Hallett ve Surprenant (2011) tarafından test edilen iki adet USB bağlantılı klavyeden biri 39.46 ms'lik bir gecikmeye neden olurken, diğer klavyenin neden olduğu gecikme 19.69 ms'dir.

Her ne kadar klavye ve farenin, yaşanan gecikmeden dolayı tepki zamanı ölçümlerinde kullanılmasının pek uygun olmadığını vurgulayan araştırmalar var olsa da (örn. Li ve ark., 2010; Stewart, 2006), belirli koşullar altında bu donanımların tepki zamanı kaydında kullanılabilmesi de vurgulanmıştır (Beringer, 1992; Graves ve Bradley, 1987). Yazının "zamanlama doğruluğunu artırmaya yönelik öneriler" bölümünde, klavye ve fare kullanılarak tepki zamanı ölçümünün hangi koşullar altında yapılabileceğine değinilmiştir.

### Tepki Kutuları

USB ve seri bağlantı noktası gibi farklı bağlantı türleriyle sunulan tepki kutularının, deneylerde tepki zamanını ölçmek için tercih edilebilecek en iyi seçenek olduğu söylenebilir. Çünkü bu tür tepki kutularının genellikle kendine ait bir zamanlayıcıları vardır ve bu sayede sinyalin bilgisayara iletilmesinde yaşanan gecikme tepki zamanı ölçümünü etkilemez (örn. Li ve ark., 2010).

### Paralel Porta Bağlanan Donanımlar

Tepki kutularından sonraki en iyi seçenek bilgisayardaki paralel porta bağlanan tepki aygıtları gibi görünmektedir. USB, PS/2 ve seri bağlantı noktasından farklı olarak, yapısından dolayı paralel port bağlantısında, donanımdan gelen sinyalin bilgisayar tarafından işlenmesinde ciddi bir gecikme yaşanmamaktadır. Bu nedenle kendine ait bir zamanlayıcısı olmasa bile, paralel porta uygun şekilde bağlanan basit bir donanımla kabul edilebilir doğrulukta tepki zamanı ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir. Örneğin Stewart (2006) böyle bir donanımın araştırmacılar tarafından nasıl kullanılabilmesini tarif etmiştir. Üstelik paralel porta bağlanacak olan donanımın ayrıca inşa edilmesi de gerekmemektedir. Farklı bir bilgisayar donanımı, paralel porta bağlanacak şekilde yapılandırılabilir, örneğin Voss, Leonhart ve Stahl (2007), bilgisayar faresinin paralel porta bağ-

lanacak hale nasıl getirileceğini ve tepkileri kaydetmek üzere nasıl programlanacağını adım adım anlatmışlardır.

Burada değinilmesi gereken bir ayrıntı, günümüz bilgisayarlarında artık paralel portun yer almadığıdır. Bununla birlikte piyasada paralel portların satışı yaygın olarak yapılmaktadır ve kullanmak isteyen araştırmacılar, masaüstü bilgisayarların PCI yuvasına bu portu kolayca monte edebilirler.

### Oyun Portuna Bağlanan Donanımlar

Yukarıda bahsedilen paralel porta benzer şekilde, oyun portlarına bağlanan donanımlar da tepki kutularından sonra düşünülebilecek seçenekler arasındadır. Bunun nedeni, oyun portuna bağlanan, oyun kumanda kolu gibi donanımların neden olduğu gecikmenin son derece düşük olmasıdır (Graves ve Bradley, 1987). Oyun portu da paralel port gibi günümüz bilgisayarlarında bulunmamasıyla birlikte, masaüstü bilgisayarlara monte edilebilen oyun portlarını piyasada kolayca bulmak mümkündür.

### Zamanlama Doğruluğunun Ölçülmesi

Hazırlanan bilgisayar temelli deneyde zamanlama doğruluğu için hangi teknik kullanılıyor olursa olsun; başka bir deyişle kullanılan zamanlayıcılar, girdi aygıtları, bilgisayar yapılandırması, programlama dili, deney tasarımı programı vs. hangisi olursa olsun, araştırmacıların, kullandıkları deneyin zamanlama hassasiyetini harici bir düzenek yardımıyla ölçmeleri gerektiği önerilmiştir (örn. Plant, 2016; Plant ve Quinlan, 2013).

Zamanlama hassasiyetinin harici bir düzenek yardımıyla ölçülmesi, sanıldığı aksine, birçok durumda düşük maliyetli ve kolaydır. Örneğin De Clercq, Crombez, Buysse ve Roeyers (2003) tarafından önerilen teknikte, iki adet bilgisayar (birincil ve ikincil bilgisayarlar), ve yükselticili bir fotosel dışında hiçbir donanımın kullanılmadığı sade bir düzenek geliştirilmiştir. Söz konusu düzenekte, birincil ve ikincil bilgisayarlar, test edilen deney bilgisayarındaki klavye ve fare ile verilen tepkileri takip etmektedir. Deney bilgisayarına ait ekranın önüne yerleştirilen fotosel ise görsel uyarıcının ne zaman sunulduğunu saptamaktadır. De Clercq ve arkadaşları bu düzenek ile görsel uyarıcıların sunum zamanının ve klavye/fare gibi girdi aygıtları ile ölçülen tepki zamanının hassasiyetini ölçebilmişlerdir.

Smyth, Cardy ve Purcell (2017) tarafından yapılan çalışmada ise oldukça basit bir yöntemle zamanlama hassasiyeti ölçülebilmektedir. Söz konusu çalışmada, deney bilgisayarı dışında sadece sıradan bir dijital kamera kullanılmıştır. Deney bilgisayarındaki zamanlama hatalarını ölçümler için ise görsel uyarıcıların bilgisayar ekranından sunumu, kamera ile 320 fps hızında kaydedilmiştir. Deney programının, uyarıcı sunumu için gönderdiği zamanlama komutu ile uyarıcının yüksek hızlı kamera

çekimindeki gerçek sunum zamanı karşılaştırılarak deneyin zamanlama doğruluğu ölçülmüştür.

Bunlar gibi, zamanlama hassasiyetini araştırmacının kendisinin ölçebileceği düşük maliyetli yöntemlerde dikkat edilmesi gereken bir nokta, ölçüm için kullanılan harici düzeneğin de zamanlama ölçümünün doğrulanması gerektiğidir. Örneğin Smyth ve arkadaşlarının (2017) yukarıda bahsedilen çalışmasında kullanılan dijital kameranın, 320 fps hızında çekim yapabildiği, belirli aralıklarla yanıp sönen bir LED devresi kameraya kaydedilerek ve bu kayıt analiz edilerek doğrulanmıştır.

Yukarıda bahsedilen, araştırmacının kendisinin geliştirebileceği düzenekler basit ve ucuz olmakla birlikte, bu düzenekleri geliştirmek/kullanmak genellikle programlama bilgisi gerektirmektedir. Ayrıca, deneylerin zamanlama hassasiyetinin ölçümü için kullanılan bu düzeneklerin de zamanlama ölçümünün bir şekilde doğrulanmasının gerekli olması bir miktar zaman kaybına neden olabilmekte ve fazladan teknik bilgi gerektirebilmektedir. Bu gibi durumlardan kaçınmak isteyen araştırmacılar, yüksek maliyetli de olsa, zamanlama ölçümü için geliştirilmiş ve test edilmiş olan hazır donanımlara başvurabilirler (örn. Plant, Hammond, ve Turner, 2004<sup>1</sup>).

### **Zamanlama Doğruluğunu Artırmaya Yönelik Öneriler**

Deneylerdeki zamanlama doğruluğu problemlerine ilişkin yukarıda değinilen literatürden hareketle, zamanlama doğruluğunu mümkün olan en iyi duruma getirebilmeleri amacıyla, araştırmacılar için aşağıdaki gibi bir öneri listesi hazırlamak mümkündür.

### **Deney Bilgisayarını, Zamanlama Doğruluğunu Artırmak için Uygun Koşullara Getirmeye Yönelik Öneriler**

Daha önce de belirtildiği gibi, her ne kadar çoklu görev ortamını gerektiren modern işletim sistemlerinde deneylerin zamanlama doğruluğunu sağlamak zor olsa da, uygun koşullar altında Windows gibi çoklu görev ortamlarında tatmin edici düzeyde zamanlama doğruluğuna sahip deneyler hazırlamak mümkündür (Chambers ve Brown, 2003; Forster ve Forster, 2003; Stevens ve ark., 2006). Fakat önemle vurgulanması gereken nokta, farklı işletim sistemlerinde hem uyarıcı sunumu için hem de tepki kaydı için deneylerin zamanlama doğruluğu test edilirken bilgisayarlar, zamanlama hatasını azaltabilmek amacıyla, genel amaçla kullanılan bilgisayarlara göre farklı şekilde yapılandırılmaktadır. Genellikle bu bilgisayarlarda anti virüs yazılımı bulunmamakta (Garaizar ve Vadillo, 2014; Neath ve ark., 2011), gerekli değilse bilgisayarın ses kartı çıkarılmakta (Plant ve ark., 2002), bilgisayarda kullanılmayan hizmetler devre dışı bira-

kılmakta (Neath ve ark., 2011) ve bilgisayar herhangi bir ağa bağlanmamaktadır (Garaizar ve Vadillo, 2014). Ayrıca gerekli değilse bilgisayarın ağ kartı çıkarılmakta (Plant ve ark., 2002; Plant ve ark., 2003), bilgisayarda zamanlanmış bir görev yer almamakta, bilgisayara gereksiz bir yazılım yüklenmemekte (Plant ve ark., 2003) ve yürütülen deney programının işletim sistemindeki önceliği yükseltilmektedir (Chambers ve Brown, 2003). Buradan hareketle, zamanlama doğruluğu gerektiren deneyleri çalıştırması gereken araştırmacıların da benzer önlemler almayı, yani bilgisayara ek yük getirecek her türlü süreçten kaçınmayı göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

### **Harici Donanımlar ile Tepki Zamanını Doğru Bir Biçimde Ölçebilmek İçin Öneriler**

Kuşkusuz, tepki zamanı kaydını en hatasız şekilde gerçekleştiren donanımlar, kendi zamanlayıcılarına sahip tepki kutularıdır. Bu nedenle tepki zamanı kaydında ilk seçenek tepki kutuları olmalıdır. İkinci seçenek ise uygun şekilde yapılandırılmış ve programlanmış, paralel porta bağlanan donanımlardır.

Tabii ki bazı durumlarda yukarıda bahsedilen iki donanımı kullanmak işlevsel olmayabilir. Örneğin eş zamanlı olarak birden çok bilgisayarda veri toplamak gerekiyorsa, çok sayıda tepki kutusu edinmek maliyeti oldukça artırabilir. Paralel porta bağlanan donanımların maliyeti oldukça düşük olsa da, araştırmacı böyle bir donanımı imal etmek için yeterli programlama ve elektronik bilgisine sahip olmayabilir (profesyonel yardım almak ise yine maliyeti artıracaktır). Bu durumda, belirli koşullar altında klavye ve fare, tepki zamanını ölçmek için kullanılabilir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, klavye ve farelerin neden olduğu, tepki zamanını kaydetmede yaşanan gecikme markaya, bağlantı türüne ve aynı markanın farklı serilerine göre büyük değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte aynı fare veya klavyenin, gerçekleştirilen her ölçümde neden olduğu gecikmenin standart sapması pek de yüksek değildir (örn. Graves ve Bradley, 1987; Neath ve ark., 2011; Segalowitz ve Graves, 1990). Klavye ve farelerin bu özelliği, belirli koşullar altında bu donanımların tepki zamanı kaydetmede kullanılabilmesini sağlamaktadır.

Genellikle psikoloji deneylerinde mutlak tepki zamanı yerine, farklı deneysel koşullarda verilen görelî tepki zamanının önemli olduğu belirtilmiştir (örn. Neath, ve ark., 2011). Araştırmacı için böyle bir durum söz konusuysa, yani katılımcıların mutlak tepki hızı önemli değil de farklı deneysel koşullardan kaynaklanan tepki zamanı farklılıkları önemliyse işler oldukça kolaylaşmaktadır. Bu tür bir araştırmada yapılması gereken tek

1 Black Box Toolkit, <http://www.blackboxtoolkit.com/>

şey, farklı koşulları, deneyin yürütüldüğü farklı bilgisayarlara, dolayısıyla farklı klavye veya farelere dengeli bir şekilde dağıtmaktır. Bu durumda, aynı klavye veya farenin kendi içindeki tepki gecikmesinin standart sapması düşük olduğu için, farklı koşullardan kaynaklanan görece tepki hızı farkı kolayca ölçülebilecektir.

Bununla birlikte araştırmacılar, katılımcıların mutlak tepki hızları ile ilgileniyorsa yapılması gereken şey, deneyde kullanılan her bir klavye ya da farenin neden olduğu tepki gecikmesini hesaba katarak, elde edilen tepki zamanı üzerinde düzeltme yapmaktır. Bunun için yapılabilecek pratik düzeltmelerden biri, kullanılan donanımın neden olduğu ortalama gecikmeyi, kaydedilen tepki zamanından çıkarmaktır (Graves ve Bradley, 1987). Tabii ki tepki zamanı üzerinde düzeltme yapabilmek için de, kullanılan her bir girdi donanımının zamanlama gecikmesinin test edilmesi gerekmektedir (Beringer, 1992). Bu testi yapmak, harici düzeneklerin kurulmasını gerektirdiği için çok da kolay değildir. Araştırmacı, gecikmeyi test etmek için harici bir düzenek kurmak yerine, gecikmeyi test eden cihazları kullanmayı da tercih edebilir.

Bunların dışında, bilgisayar fareleri ile ilgili dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta (eğer fare tepki hızı kaydedilecekse), farelerde imlecin konumunu bilgisayara ileten mekanizmanın devre dışı bırakılması gerektiğidir, çünkü imlecin konumunun bilgisayara iletilmesi, ek gecikmeye neden olmaktadır (Segalowitz ve Graves, 1990).

Son olarak, araştırmacıların klavye ve fareler ile ilgili göz önünde bulundurması gereken kritik noktalardan biri, bu donanımların, çok kısa aralıklı tepkilerin veya eş zamanlı tepkilerin hızını ölçmeye uygun olmadığıdır; çünkü her bir tepkiden sonra klavye ve farelere ait bir sonraki girdinin işlenebilmesi için bir bekleme süresi gerekmektedir (Beringer, 1992; Segalowitz ve Graves, 1990).<sup>2</sup> Eğer çok kısa aralıklarla verilmesi gereken tepkilerin hızı ölçülecekse, klavye ve fare yerine, bilgisayarın oyun portuna bağlanan donanımlar (örn. oyun kumanda kolu) kullanılabilir çünkü oyun portuna bağlanan oyun kontrol donanımlarında, klavye ve fareden farklı olarak, gerçekleştirilen girdiden, bir sonraki girdinin işlenmesine kadar geçen süre çok kısadır (Segalowitz ve Graves, 1990).

### Uygun Programlama Tekniğinin Seçilmesi ile İlgili Öneriler

Uyarıcı sunumu ve tepki zamanı kaydında doğru zamanlamanın sağlanabilmesi ile ilgili bu noktaya kadar bahsedilenler aslında deney için kullanılan bilgisayarın doğru bir şekilde yapılandırılması ve tepki kaydı için kullanılan donanımın türünün seçimi ile ilgili önerileri

içermektedir. Bununla birlikte, deneyi hazırlayan araştırmacının seçtiği programlama tekniği de zamanlama doğruluğunu kritik bir biçimde etkilemektedir.

Programlama tekniğinden kastedilen şey ise, kullanılan deney tasarımı programı, kullanılan programlama dili, kullanılan dilde hangi zamanlayıcı işlevinin çağrıldığı, nasıl bir algoritma kullanıldığı, zamanlama doğruluğunu sağlamak üzere yazılmış yardımcı modüller kullanılıp kullanılmadığı gibi başlıkları içeren geniş bir havuzdur. Programlama tekniğine özgü bu gibi başlıkların her biri ayrı bir makale veya kitabın konusu olabilecek niteliktedir ve söz konusu başlıkları bu yazıda ayrı ayrı ele almak yazının kapsamını fazlasıyla aşmaktadır. Bununla birlikte, zamanlama doğruluğunu artırmak için programlama tekniğiyle ilgili bazı genel önerilerde bulunmak mümkündür.

Öncelikle belirtilmesi gereken şey, hassas zamanlama gerektiren deneyleri bilgisayarda hazırlayabilmek için, araştırmacının birçok durumda programlama bilgisine sahip olması gerekmedir çünkü hassas zamanlama gerektiren deneylerin hazırlanabileceği ücretli (örn. E-Prime: Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) ve ücretsiz (örn. OpenSesame: Mathot, Schreij ve Theeuwes, 2012) yazılımlar mevcuttur.

Buna karşın, programlama bilgisine sahip birçok araştırmacı, deney tasarımı yazılımlarını kullanmak yerine, sağladığı esneklik nedeniyle, deneyi doğrudan programlamayı tercih etmektedir. Böyle bir durumda araştırmacının dikkat etmesi gereken önemli bir nokta, kullandığı programlama dilinin, hassas zamanlamayı sağlayabilecek bir zamanlayıcı işlevinin olup olmadığıdır. Örneğin Visual Basic, psikoloji deneylerinin programlanmasında sık kullanılan bir yazılımdır (örn. Chan ve Spence, 2003; MacLin ve MacLin, 2005; McKinney, MacCormac ve Welsh-Bohmer, 1999). Bununla birlikte, yeteri kadar hassas bir zamanlama işlevi bulunmayan Visual Basic gibi üst düzey bir programlama dili kullanılarak hassas zamanlama gerektiren bir deney programlanacaksa, uygulanabilecek pratik seçeneklerden biri, kullanılan programlama dilinden, işletim sisteminin kullandığı yüksek performanslı bir zamanlama işlevini çağırmasıdır (örn. Chambers ve Brown, 2003).

Zamanlayıcı işlevleri ile ilgili bir başka önemli nokta, kullanılan programlama dilinin, hassas zamanlamaya olanak tanıyan bir zamanlama işlevi olsa bile, bu tür işlevleri kullanabilmenin, bazen ileri düzey programlama bilgisi gerektirdiğidir. Eğer araştırmacı, zamanlayıcı işlevlerini doğru biçimde kullanacak düzeyde bir programlama bilgisine sahip değilse, kullandığı programlama dili için geliştirilmiş olan ve psikoloji deneyleri için hassas zamanlamayı sağlayan ek modüllerden ya-

2 Bus girişe sahip fareler için bu durum geçerli değildir (Beringer, 1992) fakat günümüz bilgisayarlarında bu donanım girişi yer almamaktadır.

rarlanmalıdır. Örneğin MatLab kullanan bir araştırmacı Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997), Python dilini kullanan bir araştırmacı PsychoPy (Peirce, 2007), C veya C++ dilini kullanan bir araştırmacı da Tscope (Stevens ve ark., 2006) kullanabilir.

### **Farklı Deney Tasarım Platformlarının Zamanlama Özellikleri**

Farklı deney tasarım platformlarının hassas zamanlamaya ilişkin özelliklerinin bilinmesi gerekliliği de araştırmacılara, zamanlama açısından önemli olan deneyleri tasarlamada yardımcı olabilecek önerilerden biridir. Bundan dolayı aşağıda, farklı deney tasarım platformlarının özelliklerini inceleyen bazı çalışmalar özetlenmiştir.

**DMDX.** Garaizar, Vadillo, López-de-Ipiña ve Matute (2014), üç farklı deney tasarım platformu olan DMDX (Forster ve Forster, 2003), PsychoPy (Peirce, 2007) ve E-Prime'ı (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) zamanlama doğruluğu açısından karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, bu üç platform arasında en yüksek zamanlama doğruluğuna sahip olanın DMDX olduğunu sonucuna varmışlardır.

**E-Prime.** Garaizar, Vadillo, López-de-Ipiña ve Matute (2014), E-Prime'in zamanlamanın önemli olduğu deneyler için yeterli düzeyde doğruluğa sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bununla birlikte, E-Prime'da zaman aralıklarının milisaniye düzeyinde tanımlanmasının bir miktar hataya neden olduğu ve düzeltme gerektirdiği için, zaman aralıklarının monitörün yenileme hızı dikkate alınarak, yenileme birimleri şeklinde tanımlanmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

**PsychoPy.** Garaizar ve Vadillo (2014), her döngüde çok sayıda deneme sunulmadığı ve zaman aralıkları yenileme hızı birimleri şeklinde belirlendiği sürece, PsychoPy'nin zamanlama doğruluğunun birçok deney için yeterli olduğunu belirtmiştir.

**Psychophysics Toolbox.** Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997), MatLab veya Octave ile deney tasarlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan platformlardan biridir. Psychophysics Toolbox'ın birçok durumda zamanlama doğruluğunun son derece tatminkar olduğu rapor edilmiştir (örn. Neath ve ark., 2011).

### **Web Deneyleri için Öneriler**

Yazının başında da değinildiği gibi, bu derlemenin başlıca amacı, laboratuvar ortamında yürütülmek üzere tasarlanan deneylere ilişkin zamanlama sorunlarına değinmektir. Bununla birlikte, günümüzde internet ortamında yürütülen deneyler aracılığıyla da sıkça veri toplanmaktadır. Bu nedenle son olarak, kısaca Web deneylerindeki zamanlama sorunlarına ilişkin birkaç öneride bulunulabilir.

Web deneylerinde de aynı laboratuvar ortamında yürütülen deneyler gibi hassas zamanlama gerektiren uyarıcılar kullanıldığı ve yine birçok durumda tepki hızı kaydı yapıldığı için, zamanlama doğruluğu kritik öneme sahiptir.

Web sayfaları aracılığıyla katılımcılara sunulan deneylerdeki zamanlama sorunlarının, laboratuvar deneylerindeki zamanlama sorunlarından daha farklı bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Bunun nedeni, her bir deneyin kaçınılmaz olarak, farklı donanımlara, farklı işletim sistemlerine, farklı Web tarayıcılara, farklı sayıda arka plan uygulamalarına vs. sahip bilgisayarlarda sunulmasıdır (tartışma için bkz. Garaizar, Vadillo, ve López-de-Ipiña, 2014; Schmidt, 2001).

Schmidt (2001), Web için kullanılan farklı animasyon yöntemlerinin zamanlama ölçümleri arasında geniş bir değişkenliğe sahip olduğunu belirtmiştir. Schmidt'e göre (2001), bu değişkenliği kısmen de olsa azaltmanın yolları arasında, animasyon için kullanılan zaman aralıklarını önerilen değerlerin dışında tutmamak, sunucuda yer alan deneye bağlanan katılımcının hangi internet tarayıcısını kullandığını tespit ederek, katılımcıya, deney yazılımının söz konusu internet tarayıcısına göre optimize edilmiş versiyonunu sunmak ve çalışmaya, sadece bilinen (test edilmiş) internet tarayıcısı/işletim sistemi konfigürasyonuna sahip bilgisayarlardan gelen veriyi dahil etmek yer almaktadır.

Animasyonlarda olduğu gibi, tepki zamanı kaydında da Web deneyleri söz konusu olduğunda zamanlama doğruluğunu sağlayabilmek kolay değildir. Örneğin Chetverikov ve Upravitelev (2016) Web deneylerinde veri toplanan katılımcı bilgisayarlarındaki donanım, internet tarayıcısı ve işletim sistemi çeşitliliğinin, tepki zamanı kaydı üzerinde bozucu etkisinin olduğunu saptamış, bu bozucu etkinin, örnekleme genişleterek ve deneme sayısını artırarak kısmen giderilebileceğini belirtmiştir.

Uyarıcı sunumu ve tepki zamanı kaydında zamanlama doğruluğunu artırabilmek için yukarıda sözü edilen önerilerin dışında, Web deneylerinin zamanlama sorunları ile ilgili konulara hakim olabilmek için hangi programlama platformunun nasıl bir zamanlama doğruluğu sağladığını da bilmek önemlidir. Bilindiği gibi Web deneyleri çeşitli platformlar yardımıyla programlanabilmektedir. Bu platformlardan hangisinin hassas zamanlama gerektiren Web deneyleri için daha uygun olduğuna karar vermek kolay olmasa da yapılan bazı çalışmalarda, Web deneyi tasarlayacak olan araştırmacılara karar vermelerinde yardımcı olabilecek bazı sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda bu sonuçlar, Web deneylerinde uyarıcı sunumu ve Web deneylerinde tepki zamanı kaydı olmak üzere iki alt başlıkta özetlenmiştir.

**Web deneylerinde uyarıcı sunumu.** Schmidt (2001), GIF animasyonları için zamanlama doğruluğuna ulaşmak amacıyla en düşük 200 ms'lik bir sunum süresi gerektiğini rapor etmiştir. Ayrıca Schmidt'e göre GIF animasyonlarının zamanlama doğruluğu donanım hızından oldukça etkilenmektedir. Garaizar, Vadillo, ve López-de-Ipiña (2014) tarafından ise, kullanılan Web tarayıcısından bağımsız olarak, 100 ms'nin üzerindeki zaman aralıkları kullanıldığı sürece GIF animasyonlarında belirgin bir gecikmenin olmadığı rapor edilmiştir.

Kullanılabilecek optimal sunum sürelerine ek olarak GIF dosyaları ile ilgili dikkat edilmesi gereken bir nokta, bunların diğer işlemler ile senkronize edilememesi, bu nedenle başka bileşenlerle eş zamanlı sunum ve kullanıcı tepkisine bağlı sunum gibi durumlarda kullanılmasının uygun olmamasıdır (Garaizar, Vadillo, ve López-de-Ipiña, 2014).

Javascript kullanılarak hazırlanan animasyonlarda ise zamanlama doğruluğunu elde edebilmek için, sunum süresinin 120 ms'nin altında olmaması gerekmektedir (Schmidt, 2001).

Macromedia Flash kullanılarak hazırlanan animasyonlarda zamanlama doğruluğu için en kısa sunum süresinin 250 ms olduğu belirtilmiştir, ayrıca Macromedia Flash animasyonlarında zamanlama, hızlı ve yavaş sistemler arasında yüksek bir değişkenlik göstermektedir (Schmidt, 2001). Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña (2014) ise Adobe Flash<sup>3</sup> platformunun mümkün kıldığı farklı zamanlama tekniklerinden uygun olanının seçilmesi koşuluyla, Adobe Flash animasyonlarının Web deneyleri için zamanlama doğruluğu ve hassasiyeti sunabilen iyi bir tercih olduğunu belirtmiştir. Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña'nın, Adobe Flash animasyonları programlanırken önerdiği zamanlama tekniği seçeneği, oynatıcının döngü parametresinin (*loop parameter*) kullanılmasıdır. Söz konusu çalışmada bu zamanlama tekniği kullanılarak test edilen Adobe Flash platformunun zamanlama doğruluğu Java'ya göre bir miktar daha iyi sonuç vermiştir.

Java ile geliştirilen animasyonlarda 100 milisaniyelik sunum sürelerinde zamanlama doğruluğu elde edilebilmektedir (Schmidt, 2001).

Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña (2014), zamanlama doğruluğu açısından Microsoft Silverlight'in, 16.667 milisaniyenin üzerindeki sunum sürelerinde Adobe Flash ile aynı sonuçlar verdiğini, 16.667 milisaniyelik sunum süresinde ise Adobe Flash'a göre daha kötü sonuçlar verdiğini saptamıştır.

Schmidt (2001), Java ile programlanan animasyonların zamanlama doğruluğunun, Macromedia Flash, Javascript ve hareketli GIF resimleri ile karşılaştırıldığında

sistem hızından daha az etkilendiğini rapor etmiştir.

Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña (2014) da Web animasyonlarının sunumu için, zamanlama doğruluğu açısından en iyi güncel seçeneğin Adobe Flash olduğunu belirtmiştir. Buna göre Adobe Flash, 16.667 milisaniyelik sunum sürelerinde bile zamanlama doğruluğu açısından tatmin edici sonuçlara sahiptir. Bununla birlikte söz konusu araştırmacılar Adobe Flash, Java, Microsoft Silverlight ve GIF platformlarının hepsinin, 100 milisaniyenin üzerindeki zaman aralıkları için zamanlama doğruluğunun kabul edilebilir düzeyde olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca araştırmacılara göre zaman aralıklarının 50 milisaniyenin üzerinde olduğu durumlarda en iyi seçenек, HTML5 için CSS kullanılarak animasyonların hazırlanmasıdır.

**Web deneylerinde tepki zamanı kaydı.** Reimers ve Stewart (2007), Adobe Flash'ın Web deneylerindeki tepki zamanını ne düzeyde bir doğrulukta ölçebileceğini incelemiştir. Bunun için araştırmacılar üç farklı koşulda kaydedilen tepki zamanı verisini karşılaştırmışlardır. Koşullardan birinde, C dili kullanılarak yazılan ve tepki zamanının ölçüldüğü deney laboratuvar bilgisayarı üzerinde çalıştırılmıştır. Bir diğer koşulda deney, Adobe Flash kullanılarak, Web deneyi şeklinde programlanmış fakat deney, araştırmacıların kontrolündeki laboratuvar bilgisayarı üzerinde çalıştırılmıştır. Üçüncü koşulda ise katılımcılardan, laboratuvar dışında kendi seçecekleri bir bilgisayarda Adobe Flash deneyini çalıştırmaları istenmiştir. Yapılan analiz sonucunda, deneyin laboratuvar bilgisayarı üzerinde çalıştırıldığı, Web deneyi olmayan koşula göre, laboratuvar bilgisayarda çalıştırılan Adobe Flash'lı Web deneyinin ortalama 10 ms'lik bir tepki zamanı gecikmesine sahip, laboratuvar dışında farklı bilgisayarlarda çalıştırılan Adobe Flash'lı Web deneyinin ise, Web deneyi olmayan laboratuvar bilgisayarı koşuluna göre 30-40 ms civarı bir tepki zamanı gecikmesine sahip olduğu bulunmuştur. Reimers ve Stewart, bu miktardaki gecikmelerin büyük olmadığı ve Adobe Flash'ın, Web deneyi aracılığıyla tepki zamanı verisi toplamaya uygun bir programlama platformu olduğu sonucuna varmıştır.

Leeuw ve Motz (2016) ise JavaScript ile programlanan Web deneylerinde gerçekleştirilen tepki zamanı ölçümünün doğruluğunu, MatLab'da Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997) kullanılarak hazırlanan laboratuvar deneylerindeki tepki zamanı ölçümünün doğruluğu ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, JavaScript'in, Psychophysics Toolbox'a göre bir miktar daha fazla gecikmeye neden olsa da, Web deneylerinde tepki zamanı ölçümü yapmaya izin verecek kadar zamanlama doğruluğuna sahip olduğunu belirtmişlerdir.

3 Flash platformu daha sonra Adobe şirketi tarafından satın alındığı için, bu yazıda atıf yapılan çalışmaların tarihine bağlı olarak platform bazen Macromedia Flash, bazen de Adobe Flash olarak anılmıştır.



**Tablo 1.** Bilgisayar Temelli Davranışsal Deneylerde Uyarıcı Sunumu ve Tepki Zamanı Kaydı Sırasında Zamanlama Doğruluğunu Artırabilecek Öneriler

<b>Uyarıcı sunumu ve tepki zamanı ölçümüne ilişkin zamanlama sorunları ile ilgili çalışmalarda, bilgisayarların zamanlama doğruluğunu artırmak üzere kullanılmış olan teknikler</b>
Bilgisayarda anti virüs yazılımının bulunmaması gerekmektedir (Garaizar ve Vadillo, 2014; Neath ve ark., 2011).
Gerekli değilse ses kartı çıkartılmalı (Plant, Hammond ve Whitehouse, 2002).
İşletim sisteminin kullanılmayan hizmetleri devre dışı bırakılmalıdır (Neath ve ark., 2011).
Bilgisayarda ağ bağlantısı olmamalıdır (Garaizar ve Vadillo, 2014).
Gerekli değilse ağ kartı çıkartılmalıdır (Plant ve ark., 2002; Plant ve ark., 2003).
İşletim sisteminde zamanlanmış görev bulunmamalıdır (Plant ve ark., 2003).
Deney yazılımının işletim sistemindeki önceliği artırılmalıdır (Chambers ve Brown, 2003).
Programlama yapılırken hassas bir zamanlayıcı işlevi kullanılmalıdır (Chambers ve Brown, 2003).
<b>Tepki hızı kaydında zamanlama doğruluğunu artırdığı saptanan teknikler</b>
Fare ve klavye gibi standart donanımlar yerine, tepki kutusu kullanmak en iyi seçenektir (Li ve ark., 2010).
Tepki kutularından sonraki en iy seçenek paralel porta bağlanan girdi aygıtlarıdır (Stewart, 2006; Voss, Leonhart ve Stahl, 2007).
Oyun portuna bağlanan donanımlar da tepki kutusundan sonra tercih edilebilecek seçenekler arasındadır (Graves ve Bradley, 1987).
Fare kullanılacaksa, fare imlecinin konumunu bilgisayara ileten mekanizma devre dışı bırakılmalıdır (Segalowitz ve Graves, 1990).
Çok kısa aralıklı tepkiler veya eş zamanlı tepkiler kaydedilecekse klavye ve fare kullanılmamalıdır (Beringer, 1992; Segalowitz ve Graves, 1990).
<b>Web deneyleri için öneriler</b>
Web deneylerinde tepki zamanı kaydı için yeterli düzeyde zamanlama doğruluğuna sahip platformlardan biri JavaScript'tir (Leeuw ve Motz, 2016).
Adobe Flash, Web deneylerinde tepki zamanı kaydı için kullanılabilir düzeyde bir zamanlama doğruluğu sağlamaktadır (Reimers ve Stewart, 2007).
Adobe Flash, Web deneylerinde çok kısa süreli uyarıcı sunumları için bile tatmin edici düzeyde zamanlama doğruluğu sağlamaktadır (Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña, 2014).
100 milisaniyenin üzerindeki uyarıcı sunum süreleri için Java, Adobe Flash, GIF ve Microsoft Silverlight platformları yeterli düzeyde zamanlama doğruluğu sağlamaktadır (Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña, 2014).
50 milisaniyenin üzerindeki uyarıcı sunum süreleri için en iyi seçenek HTML 5 için CSS kullanılarak hazırlanan animasyonlardır (Garaizar, Vadillo ve López-de-Ipiña, 2014).

## Sonuç

Öncelikle, anlaşılabilirliğin artırılması amacıyla, bilgisayar temelli davranışsal deneylerde yaşanan zamanlama sorunlarına ilişkin olarak yukarıdaki başlıklarda değinilen çözüm önerilerinin bazılarını maddeler halinde özetlemek yararlı olabilir. Tablo 1'de bu maddeler sunulmuştur.

Bu yazıda özetlenen literatürden de anlaşılacağı gibi, bilgisayar temelli bilişsel psikoloji deneylerinde zamanlama doğruluğunun azalmasına neden olan birçok farklı kaynak mevcuttur. Dolayısıyla, zamanlama sorunlarının çözümü de farklı yaklaşımları bir arada kullanmayı gerektirmektedir. Bu yaklaşımlar, deney bilgisayarının uygun koşullara getirilmesi, uygun programlama tekniğinin seçilmesi ve tepki kaydı için uygun donanımın seçilmesi başlıkları altında bu yazıda özet-

lenmiştir. Buna ek olarak, araştırmacıların kendi deney bilgisayarlarının zamanlama doğruluğunu ölçebilmeleri için literatürde önerilen teknikler de ele alınmıştır. Yazının sınırlarını aşabileceği düşüncesiyle, zamanlama doğruluğu ile ilgili olarak literatürde yayınlanmış ve bu yazıda ek başlıklar açmayı gerektiren bazı çalışmaların ayrıntılarına ise değinilmemiştir. Bunlar arasında uyarıcı sunumu için seçilen monitörün özelliklerinin zamanlama doğruluğuna etkisi (örn. Wang ve Nikolić, 2011) ve Web deneylerini tasarlamayı kolaylaştırmak amacıyla yayınlanmış modüllerin özelliklerinin tartışılması (örn. Keller, Gunasekharan, Mayo ve Corley, 2009) gibi konular yer almaktadır. Gelecekte yapılacak olan gözden geçirme çalışmalarında bu başlıklara dâhil edilebilecek araştırmaların da ele alınması, konu ile ilgilenen araştırmacılar için yararlı olacaktır.

## Kaynaklar

- Beringer, J. (1992). Timing accuracy of mouse response registration on the IBM microcomputer family. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 24, 486–490.
- Bovens, N. ve Brysbaert, M. (1990). IBM PC/XT/AT and PS/2 Turbo Pascal timing with extended resolution. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 22, 332–334.
- Brainard, D. H. (1997) The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10, 433–436.
- Chambers, C. D. ve Brown, M. (2003). Timing accuracy under Microsoft Windows revealed through external chronometry. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 96–108.
- Chan, J. S. ve Spence, C. (2003). Presenting multiple auditory signals using multiple soundcards in Visual Basic 6.0. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 34, 364–367.
- Chetverikov, A. ve Upravitelev, P. (2016). Online versus offline: The Web as a medium for response time data collection. *Behavior Research Methods*, 48, 1086–1099.
- de Clercq, A., Crombez, G., Buysse, A. ve Roeyers, H. (2003). A simple and sensitive method to measure timing accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 109–115. *Behavior Research Methods*, 48, 408–411.
- de Leeuw, J. R. ve Motz, B. A. (2016). Psychophysics in a Web browser? Comparing response times collected with JavaScript and Psychophysics Toolbox in a visual search task. *Behavior Research Methods*, 48, 1–12.
- Finney, S. A. (2001). Real-time data collection in Linux: A case study. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 33, 167–173.
- Forster, K. I. ve Forster, J. C. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 116–124.
- Garaizar, P., Vadillo, M. A. (2014). Accuracy and precision of visual stimulus timing in PsychoPy: No timing errors in standard usage. *PLoS ONE*, 9, e112033
- Garaizar, P., Vadillo, M. A. ve López-de-Ipiña, D. (2014). Presentation accuracy of the Web revisited: Animation methods in the HTML5 Era. *PLoS One*, 9, e109812.
- Garaizar, P., Vadillo, M. A., López-de-Ipiña, D. ve Matus, H. (2014). Measuring software timing errors in the presentation of visual stimuli in cognitive neuroscience experiments. *PLoS One*, 9, e85108.
- Graves, R. ve Bradley, R. (1987). Millisecond interval timer and auditory reaction time programs for the IBM PC. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 19, 30–35.
- Graves, R. ve Bradley, R. (1988). More on millisecond timing and tachistoscope applications for the IBM PC. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 20, 408–412.
- Keller, F., Gunasekharan, S., Mayo, N. ve Corley, M. (2009). Timing accuracy of Web experiments: A case study using the WebExp software package. *Behavior Research Methods*, 41, 1–12.
- Li, X., Liang, Z., Kleiner, M. ve Lu, Z. –L. (2010). RT-box: A device for highly accurate response time measurements. *Behavior Research Methods*, 42, 212–225.
- Maclin, O. H. ve Maclin, M. K. (2005). Coding observational data: a software solution. *Behavior Research Methods*, 37, 224–231.
- Mathot, S., Schreij, D. ve Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44, 314–324.
- Macinnes, W. J. ve Taylor, T. L. (2001). Millisecond timing on PCs and Macs. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 33, 174–178.
- McKinney, C. J., MacCormac, E. R. ve Welsh-Bohmer, K. A. (1999). Hardware and software for tachistoscope: How to make accurate measurements on any PC utilizing the Microsoft Windows operating system. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31, 129–136.
- Myors, B. (1998). A simple graphical technique for assessing timer accuracy of computer systems. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30, 454–456.
- Myors, B. (1999). Timing accuracy of PC programs running under DOS and Windows. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 31, 322–328.
- Neath, I., Earle, A., Hallett, D. ve Surprenant, A. M. (2011). Response time accuracy in Apple Macintosh computers. *Behavior Research Methods*, 43, 353–362.
- Peirce, J. W. (2007) PsychoPy - Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162, 8–13.
- Plant, R. R. (2016). A reminder on millisecond timing accuracy and potential replication failure in computer-based psychology experiments: An open letter. *Behavior Research Methods*, 48, 408–411.
- Plant, R. R., Hammond, N. ve Turner, G. (2004). Self-validating presentation and response timing in cognitive paradigms: How and why? *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36, 291–303.

- Plant, R. R., Hammond, N. ve Whitehouse, T. (2002). Toward an experimental timing standards lab: Benchmarking precision in the real world. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *34*, 218–226.
- Plant, R. R., Hammond, N. ve Whitehouse, T. (2003). How choice of mouse may affect response timing in psychological studies. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *35*, 276–284.
- Plant, R. R. ve Quinlan, P. T. (2013). Could millisecond timing errors in commonly used equipment be a cause of replication failure in some neuroscience studies? *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *13*, 598–614.
- Plant, R. R. ve Turner, G. (2009). Millisecond precision psychological research in a world of commodity computers: New hardware, new problems? *Behavior Research Methods*, *41*, 598–614.
- Psychology Software Tools, Inc. [E-Prime 3.0]. (2017). <http://www.pstnet.com> adresinden alınmıştır.
- Reimers, S. ve Stewart, N. (2007). Adobe Flash as a medium for online experimentation: A test of reaction time measurement capabilities. *Behavior Research Methods*, *39*, 365–370.
- Schmidt, W. C. (2001). Presentation accuracy of Web animation methods. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *33*, 187–200.
- Segalowitz, S. J. (1987). IBM PC tachistoscope: text stimuli. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *19*, 383–388.
- Segalowitz, S. J. ve Graves, R. E. (1990). Suitability of the IBM XT, AT, and PS/2 keyboard, mouse, and game port as response devices in reaction time paradigms. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *22*, 283–289.
- Smyth, R. E., Cardy, J. O. ve Purcell, D. (2017). Testing the accuracy of timing reports in visual timing tasks with a consumer-grade digital camera. *Behavior Research Methods*, *49*, 967–971.
- Stevens, M., Lammertyn, J., Verbruggen, F. ve Vandierendonck, A. (2006). Tscope: A C library for programming cognitive experiments on the MS Windows platform. *Behavior Research Methods*, *38*, 280–286.
- Stewart, N. (2006). A PC parallel port button box provides millisecond response time accuracy under Linux. *Behavior Research Methods*, *38*, 170–173.
- Voss, A., Leonhart, R. ve Stahl, C. (2007). How to make your own response boxes: A step-by-step guide for the construction of reliable and inexpensive parallel-port response pads from computer mice. *Behavior Research Methods*, *39*, 797–801.
- Wang, P. ve Nikolić, D. (2011). An LCD monitor with sufficiently precise timing for research in vision. *Frontiers in Human Neuroscience*, *5*, 1–10.
- Warner, C. B. ve Martin, M. K. (1999). eXpTools: A C++ class library for animation, tachistoscopic presentation, and response timing. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *31*, 387–399.

## *Summary*

# **Timing Issues Encountered in Stimulus Presentation and Reaction Time Measurement While Designing Computer Based Behavioral Experiments in Cognitive Psychology**

Osman İyilikci

Manisa Celal Bayar University

Most of the experiments conducted in the contemporary field of cognitive psychology are designed in a computerized environment. One essential issue that should be observed while preparing computer based experiments is that, these experiments must be capable of measuring time properly because some procedures such as recording reaction time, presenting short-duration stimulus and displaying animated objects necessitate both millisecond precision timing and accurate time measurement (see Plant, 2016; Plant & Quinlan, 2013, for a discussion). Consequently, issues regarding accurate timing are addressed frequently both in research methods and instrumentation literature. The purpose of this paper is to review studies concerning timing accuracy and provide researchers with the summary of recommended solutions in the literature for several timing problems.

### **The Effect of Multitasking Environment on Timing Accuracy**

A number of studies emphasized that Windows operating system's multitasking environment constrains accurate time measurement in experiments (e.g. Myers, 1998, Myers, 1999). Consistently, several other studies found that MS-DOS (which is not a multitasking operating system) allows precise timing (Bovens & Brysbaert, 1990; Graves & Bradley, 1987; Graves & Bradley, 1988; Segalowitz, 1987; Warner & Martin, 1999).

Although the advantage on timing accuracy provided by MS-DOS like operating systems' plain environment is apparent, it must be taken into consideration that, computerized experiments running on Windows or any other multitasking environment may have accurate timing for stimulus presentation and reaction time measurement under proper circumstances (Chambers

& Brown, 2003; Finney, 2001; Forster & Forster, 2003; Plant, Hammond & Whitehouse, 2003; Stevens, Lamertyn, Verbruggen, & Vandierendonck, 2006). In the recommendations section of this paper, the conditions under which multitasking operating systems provide accurate timing are discussed.

### **The Effect of Different Input Devices on Timing Accuracy**

#### **Keyboard and Mouse**

Plant et al. (2003) tested several mouse devices both in hardware level (independent of operating system) and in Windows environment by running a reaction time experiment. They compared different brands and ports (PS/2, USB and serial). Plant et al.'s measurements indicated that, under proper conditions, the contribution of Windows to mouse response delay is negligible. However, results of response delay that is independent of operating system caused by mouse devices revealed that, there is large variability between different brands, different ports and different models of the same brand. This deviation ranged from 6.55 to 61.60 msec. Plant et al. emphasized that, it is not easy to recommend a particular brand and port for timing accuracy and they suggested that using response boxes in time critical experiments may be an appropriate choice.

Studies indicated that, like mouse devices, computer keyboards cause a substantial amount of time delay and variability of this delay among different keyboards is quite large. For example, a PS/2 keyboard tested by Plant et al. (2003) has 28.25 msec mean delay. Additionally, Neath, Earle, Hallett and Surprenant (2011) reported, one of two tested USB keyboards has 39.46 msec and the other one has 19.69 msec mean delay.

Although several studies emphasized that mouse devices and keyboards are not proper for measuring reaction time (e.g. Li, Liang, Kleiner & Lu, 2010, Stewart, 2006) because they have substantial amount of time delay, it is suggested that these input devices may be used to collect reaction time data under appropriate conditions (Beringer, 1992; Graves & Bradley, 1987). In the recommendations section of this paper, the conditions under which keyboard and mouse may be used to measure reaction time are summarized.

#### **Response Boxes**

It may be suggested that, response boxes are the best choice to measure reaction time in behavioral experiments because they contain an internal timer. By means of the internal timer, reaction time measurement is not affected by the delay that occurs while transmitting the signal to computer (e.g. Li et al., 2010).

#### **Parallel Port Devices**

The second best choice after response boxes is using parallel port devices. Unlike USB, PS/2 and serial ports, there is no considerable delay while transmitting signals to computer through parallel port. For this reason, even if it does not have an internal timer, a simple device connected to parallel port can measure reaction time with reasonable accuracy (e.g. Stewart, 2006; Voss, Leonhart & Stahl, 2007).

#### **Game port Devices**

The game port devices also appear as one of the second best choices after the response boxes. Devices connected to the game port, such as joysticks, cause little amount of delay while measuring reaction time (Graves & Bradley, 1987).

#### **Measuring Timing Accuracy**

It is recommended that, regardless of which technique is used to achieve accurate timing while running a computer based experiment, researchers must measure their experiment's timing accuracy using an external setting (e.g. Plant, 2016; Plant & Quinlan, 2013).

As opposed to the popular belief, measuring timing accuracy with the assistance of an external mechanism is a low cost and easy option in most cases. For example De Clercq, Crombez, Buysse and Roeyers (2003) described a simple mechanism, which consists of only two computers and a photocell and it could be used to measure the computer's timing accuracy for both reaction time measurement and stimulus presentation. Smyth, Cardy and Purcell (2017) also demonstrated a plain setting in which only an ordinary digital camera was used in addition to the experiment computer. In this setting, a video of stimulus presentation was recorded in 320 fps and the video was analyzed to evaluate timing accuracy of stimulus duration.

Although such external settings are simple and

low cost solutions, developing/using such mechanisms requires some amount of expertise in programming. For researchers who do not have programming experience, commercial devices, which measure timing accuracy is a viable option for evaluating timing accuracy (e.g. Plant, Hammond & Turner, 2004).

#### **Recommendations for Increasing Timing Accuracy**

In the light of above mentioned literature that considers issues regarding timing accuracy, a solution list is recommended for researchers to ensure timing accuracy in computer based experiments.

#### **Recommendations for Optimizing Experiment Computer to Increase Timing Accuracy**

Although it is difficult to provide accurate timing in experiments running on modern multitasking operating systems, it is possible to design experiments with satisfactory level of timing accuracy under appropriate conditions (Chambers & Brown, 2003; Forster & Forster, 2003; Stevens et al., 2006). Note that while they are being tested for timing accuracy, computers are configured differently than general purpose ones with the aim of decreasing timing error. Typically, those computers have no antivirus software (Garaizar & Vadillo, 2014; Neath et al., 2011), their soundcard is removed if not necessary (Plant, Hammond & Whitehouse, 2002), unneeded services are disabled (Neath et al., 2011), network connections are disabled (Garaizar & Vadillo, 2014), network card is removed (Plant et al., 2002; Plant et al., 2003), scheduled tasks are disabled and only the necessary software applications are installed (Plant et al., 2003). Additionally, the priority of the experiment program in the multitasking operating system is maximized (Chambers & Brown, 2003). From this point of view, researchers who wish to run time critical experiments should take such precautions, namely, they should consider avoiding any action that would bring extra load to the experiment computer.

#### **Recommendations for Measuring Reaction Time Accurately by Using Standard Input Devices**

Undoubtedly, most accurate devices for measuring reaction time are response boxes as they have an internal timer. For this reason, response boxes must be the first choice. Second choice may be a properly programmed parallel port device. However, in some circumstances, it is not practical to use a response box or a parallel port device. For example, in situations where a number of computers must be used simultaneously to collect data, it may be costly to acquire multiple response boxes. On the other hand, even if parallel port devices are cost-efficient, the researcher may not have enough programming and electronics knowledge to develop such tools.

Because of these, mouse devices and keyboards may be used in some conditions to collect reaction time data.

As mentioned earlier, the amount of delay caused by mouse or keyboard has a great variation across brands, port types and even different models of the same brand (Plant et al., 2003). On the other hand, the standard deviation of the delay of a particular mouse or keyboard is negligible (e. g. Graves & Bradley, 1987; Neath et al., 2011; Segalowitz & Graves, 1990). This characteristic of mouse devices and keyboards makes them viable for reaction time experiments.

Note that measuring relative response latency among different experimental conditions rather than measuring absolute latency is important in psychology experiments (e.g. Neath et al., 2011). If measuring relative latency is in question for an experimenter, the only thing to be done in the study is to balance different conditions across different experiment computers (thereby different keyboards or mouse devices).

However, if researchers are interested in measuring absolute reaction time, reaction time data must be corrected by taking account of timing delay caused by each keyboard or mouse. A practical correction may be simply subtracting the input device's mean delay from collected response latency (Graves & Bradley, 1987). To be able to do this correction, each input device's delay must be tested prior to experimentation (Beringer, 1992). However it is not very easy to perform such a test as it necessitates an external setup. For this reason, researchers may prefer to use commercial devices to test the mouse's or keyboard's delay.

Lastly, one of the critical points that must be considered by researchers is that, mouse devices and keyboards are not suitable for registering reaction time for repetitive key strokes which have very short inter-response interval (Beringer, 1992; Segalowitz & Graves, 1990). If reaction time will be registered for very fast responses, game port devices may be used because the refractory period they need before registering the following action is very short (Segalowitz & Graves, 1990).

### **Recommendations for Web Experiments**

As in the case of laboratory experiments, accurate timing is essential for Web based experiments because in some circumstances the reaction time measurement and short duration stimulus presentation are performed in online studies.

Different from laboratory experiments, achieving accurate timing in online studies is much more difficult because the experiments are run on participants' computers that have different operating systems, browsers and hardware combinations (for discussion see Garaizar, Vellido, & López-de-Ipiña, 2014; Schmidt, 2001).

Schmidt (2001) suggested that, researchers must run several versions of their experiment program that is optimized for a particular browser and analyze the data that was only collected from the tested browser-hardware-operating system combinations to reduce the time delay variability across participant computers.