



A novel approach to assess search and decision-making process in visual inspection

Betül Ege^{ID}, Berna Haktanırlar Ulutaş*^{ID}

Eskisehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, 26040 Eskisehir, Turkey

Highlights:

- Utilizing the eye-tracking technology during Visual Inspection and assessing potential benefits
- Emphasizing the importance of human factors for Visual Inspection
- Presenting the approaches for developing efficient and effective search strategies for Visual Inspection

Keywords:

- Non-Destructive Testing
- Visual Inspection
- Eye-tracking System
- NASA-TLX
- Learning Styles Questionnaire

Article Info:

Research Article
Received: 04.02.2021
Accepted: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.874708

Correspondence:

Author: Berna Haktanırlar
Ulutaş
e-mail: bhaktan@ogu.edu.tr
phone: +90 222 239 3750 /
3631

Graphical/Tabular Abstract

Non-Destructive testing (NDT) is one of the important quality control tools where the defects on the surface or inside the material or parts are detected without any physical damage. The acceptance or rejection decision is generally given by the quality control staff based on a set of standard procedures or the experiences. Inspection training is crucial to save time and costs resulting from misleading decisions.

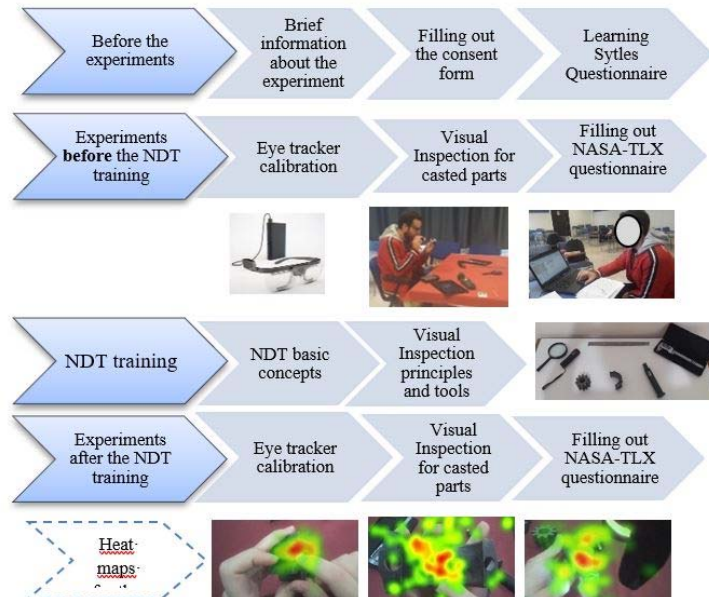


Figure A. Basic steps and results of the proposed approach

Purpose: A novel approach is proposed that comprises a Learning Styles Questionnaire, the eye tracking technology, and the NASA-TLX questionnaire to attract attention to the importance of human factors in visual inspection.

Theory and Methods:

A mobile eye-tracker was used during the visual inspection experiments before and after the basic NDT training. The data concerning number of fixations, fixation duration, and number of fixations on the area of interest were recorded for the 25 participants.

Results:

Statistical analysis results confirmed that the use of eye tracker technology has a potential to record and help to analyze the eye movement data. Correct design of training based on learning styles can reduce visual inspection training time and improve testing accuracy.

Conclusion:

The cognitive stress indicator before and after the training was determined by NASA-TLX Questionnaire. The scores were significantly different based on the geometrical design of the parts and the defect identification difficulty. The approach has a potential to be used for practical NDT training cases to reduce training time and save training costs.



Görsel muayenede arama ve karar verme sürecini değerlendirmeye yönelik yeni bir yaklaşım

Betül Ege^{ID}, Berna Haktanırlar Ulutaş*^{ID}

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26040 Eskişehir, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Göz takip cihazının Görsel Muayene faaliyetleri sırasında kullanımı ve katkılarının değerlendirilmesi
- Görsel Muayene faaliyetlerinde insan faktörünün öneminin vurgulanması
- Görsel Muayenede etkili ve etkin arama stratejilerin geliştirilmesini destekleyen yaklaşımların önerilmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.02.2021

Kabul: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.874708

Anahtar Kelimeler:

Tahribatsız muayene,
görsel muayene,
göz takip teknolojisi,
NASA-TLX

ÖZ

Tahribatsız muayene, parça yüzeyi ya da içindeki kusurların fiziksel bir hasar vermeden belirlendiği önemli araçlardan biridir. Kabul-ret kararı, genellikle kalite kontrol elemanı tarafından standart prosedürler ya da deneyime bağlı olarak verilmektedir. Yanlış kararlar sonucu oluşabilecek zaman kaybı ve maliyetleri önlemek üzere kusur arama ve karar verme sürecinin eğitimi büyük önem taşımaktadır. Kapsamlı ve iyi bir teorik eğitim, kontrol doğruluğunun sağlanması ve öznellikten kaynaklanan hataların azaltılmasında tek başına yeterli olmayabilmektedir. Çalışmanın temel amacı, Görsel Muayene işlemlerinde insan faktörlerinin önemine dikkat çekmektir. Önerilen yeni yaklaşım, Öğrenme Stilleri Anketi, göz takip teknolojisi ve zihinsel zorlanmayı belirleyebilmek üzere NASA-TLX kullanımını kapsamaktadır. Pilot çalışmada görsel muayene görevleri, geometrik tasarımları ve kusur düzeyleri birbirinden farklı üç döküm parçanın muayenesi olarak tanımlanmıştır. Temel tahribatsız muayene eğitimi öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen Görsel Muayene deneylerinde mobil bir göz takip cihazı kullanılmıştır. 23 katılımcı için, odaklanma sayısı, odaklanma süresi ve tanımlanan alandaki odaklanma sayısına ilişkin veriler kayıt altına alınmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları, göz takip teknoloji kullanımının muayene süresi ve doğruluğunu iyileştirmek üzere kullanılabileceğini teyit etmektedir. Eğitimin katılımcıların öğrenme stillerine uygun bir şekilde hazırlanması, eğitim önce ve sonrası için değerlendirilen zihinsel zorlanma göstergeleri arasında anlamlı bir farklılık olmasını sağlamıştır.

A novel approach to assess search and decision-making process in visual inspection

H I G H L I G H T S

- Utilizing the eye-tracking technology during Visual Inspection and assessing potential benefits
- Emphasizing the importance of human factors for Visual Inspection
- Presenting the approaches for developing efficient and effective search strategies for Visual Inspection

Article Info

Research Article

Received: 04.02.2021

Accepted: 16.10.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.874708

Keywords:

Non-destructive testing,
visual inspection,
eye-tracking system,
NASA-TLX

ABSTRACT

Non-Destructive testing (NDT) is one of the important tools where the defects on the surface or inside the material/parts are detected without any physical damage. The acceptance/rejection decision is given by the quality control staff based on standard procedures or experiences. The defect searching and decision-making process in inspection training is crucial to save time and costs. A comprehensive and well-prepared theoretical training may not always ensure control accuracy and reduce mistakes resulting from subjectivity. Main purpose of this study is to attract attention to the importance of human factors in visual inspection. A novel approach is proposed that comprises a Learning Styles Questionnaire, using the eye tracking technology, and the NASA-TLX to assess cognitive workload. The pilot study was examining three casted parts with different defect density levels and geometrical designs. The number of fixations, fixation duration, and number of fixations were recorded by mobile eye-tracker for the 23 participants. Statistical analysis results confirmed that use of eye tracker technology has a potential to reduce visual inspection training time and improve testing accuracy. The cognitive stress indicator before and after the basic NDT training was determined as significantly different based on the training type that considers the learning styles.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : betul.ege1030@gmail.com, *bhaktan@ogu.edu.tr /

Tel: +90 222 239 3750 / 3631

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir malzemenin üretim aşamasında veya sonrasında yüzeyinde oluşabilen tabakalaşmalar, çatlaklar, dikişler, dövme katmanları, yabancı madde kalıntıları ve gözenekler gibi süreksizlik olarak tanımlanan kusurlar malzemenin yapısal bütünlüğünü bozmaktadır. Malzemede oluşan bu süreksizliklerin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için kalite kontrolde önemli bir yere sahip olan Tahribatsız Muayene'ye sıklıkla başvurulmaktadır [1]. Test edilecek parçanın türü, geometrik tasarımı ve tespit edilmesi planlanan hata tiplerine bağlı olarak en uygun Tahribatsız Muayene yönteminin belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamada her yöntemin diğerine kıyasla çeşitli üstün ya da zayıf yönleri olabilmektedir. Radyografik Muayene, Ultrasonik Muayene, Girdap Akımları, Sıvı Penetrant ve Manyetik Parçacık Testi yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Fakat, hiçbir yöntemin tek başına en iyi olduğu iddia edilememektedir. Bazı parça testleri için %100 kontrol elde edebilmek için birden fazla yöntemin kullanılması gereken durumlar da oluşabilmektedir. Tahribatsız Muayene konusunda eğitilmiş, tecrübeli ve güvenilir kontrol elemanlarının hataları doğru bir şekilde tespit etmesi, yanlış verilen kararlar sonucunda oluşan zaman kaybı ve maliyetlerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır.

Görsel Muayene, imalat işletmelerinde ürün kalite ve standartlara uyuluğun belirlenmesinde eğitim almış kişiler tarafından uygulanmaktadır. Tahribatsız Muayene kontrol elemanının becerileri onun veri derleme ve bu verilerin beyinde bilgiye dönüştürülmesine dayanır. İnsanın bilgi işleme sisteminin sınırları olduğundan dolayı, araştırmalar daha hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli olan otomasyona dayalı sistemler ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi için devam etmektedir. Diğer taraftan, Görsel Muayene, günümüzde en güvenilir yöntemlerden biri olarak uygulanmaya devam etmektedir. Tahribatsız Muayene kontrol elemanlarının eğitimleri teorik ve pratik olarak verilmektedir ve bu alandaki bilgileri zaman içerisinde geliştirmektedir. Çoğu zaman yazılı hale getirilemeyen bu bilgi ve beceriler, diğer kontrol elemanları ile paylaşılabilir. Fakat, yeni çözümlerin ya da destekleyici teknolojilerin geliştirilebilmesi için zaman içerisinde kazanılan bu bilgiler çok değerlidir.

Bu çalışmanın temel amacı, Görsel Muayene kontrol elemanlarının kusur arama ve karar verme süreçlerinde, kontrol doğruluğunun artırılmasına katkıda bulunacak bir yaklaşım geliştirilmesidir. Erişilebilir literatürde, kişilerin öğrenme stilleri ve Görsel Muayene faaliyetlerinde kontrol elemanlarının zihinsel zorlanma konularının dikkate alınmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, kontrol bölgelerindeki doğruluğun değerlendirilmesinde, tecrübeli ve az deneyimli kontrol elemanlarının verilerinin karşılaştırılmasına katkı sağlama potansiyeli olan göz takip teknolojisinin bu alanda henüz kullanılmadığı tespit edilmiştir. Çalışmanın odaklandığı araştırma soruları, farklı kusur seviyeleri için göz hareketlerindeki farklılığın ve Görsel Muayenede kusur arama ve karar verme sırasında zihinsel iş yükünün

değerlendirilmesidir. Çalışmanın ikinci bölümünde incelenen konu çerçevesinde yayınlanmış çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada önerilen yaklaşımın adımları açıklanmıştır. Dördüncü bölüm, lisans öğrencileri üzerinde gerçekleştirilen pilot çalışmanın uygulama adımlarını içermekte, beşinci bölümde ise istatistiksel analiz sonuçları ve bulgular sunulmaktadır. Son bölümde, sonuçlar mevcut çalışmalar ile ilişkilendirilmiş, çalışmanın sınırları tartışılmış ve izleyen çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. BİLİMSEL YAZIN TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Literatürde Tahribatsız Muayene yöntemlerini ele alan çok sayıda teorik çalışma bulunmaktadır. Çalışma kapsamına uygun olan Görsel Muayene çalışmalarına odaklanılmıştır. Ayrıca, önerilen yaklaşımda göz hareketlerine ilişkin veri derleme amacıyla yararlanılan Göz Takip Sistemleri, NASA-TLX ve Öğrenme Stilleri Anketi ile ilgili kısa açıklamalar ve ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

2.1. Tahribatsız Muayene ve Görsel Muayene Yazın Taraması

(Literature Review on Non-Destructive Testing and Visual Inspection)

Tahribatsız Muayenenin endüstriyel ve diğer mühendislik uygulamalarına ilişkin alan tarama araştırması, hangi yöntemlerin düşük maliyet ve yüksek güvenlik şartlarını sağladığını tartışmaktadır [2]. Dwivedia vd. [3] araştırmalar ve gelişmeler hakkında güncel bilgileri paylaşmaktadır. Tahribatsız Muayenenin kompozit malzemeler [4, 5], ve beton malzeme [6] uygulamalarına ilişkin kapsamlı çalışmalar da mevcuttur. Basınçlı kaplar, boru hatları, ısı değiştiriciler ve kazanlar gibi ekipmanlarda oluşabilecek hasar riskinin en aza indirebilmek ya da mevcut hasarları erken teşhis edilebilmek üzere, ekipmanların periyodik olarak muayene edilmesi gerekmektedir. Yorulma hasarlarına yönelik periyodik muayenelerde tahribatsız muayene yöntemlerinden yararlanılır ve çatlak boyutunun tespit edilmesine yönelik uygulamalar gerektirilir [7].

Tahribatsız Muayenede insan faktörlerinin önemini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Uçak kazası kazalarında, Tahribatsız Muayene ile fark edilmeyen hatalı bakım faaliyetlerine ilişkin, denetim prosedürleri, el kitapları, standartlar, kontrol listesi gibi iş yardımcıları (Software), yardımcı alet ve ekipmanları (Hardware), Görsel muayeneyi gerçekleştiren operatörün içinde bulunduğu fiziksel ortam (Environment), kontrolü gerçekleştiren operatör ve etrafındaki çalışma arkadaşları (Liveware) başlıklarını içermektedir faktörler için bir model geliştirilmiştir [8].

Görsel Muayenenin 21. Yüzyıldaki önemi ve performansı etkileyen faktörler See vd. [9] tarafından tartışılmış ve geleneksel yaklaşımlar ile otomasyona dayalı sistemlerin uygulamalarına yönelik öngörüler özetlenmiştir. Görsel Muayene ortamının tasarımı ve teorik konular ele alınmıştır

[10]. Muayenenin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için, muayene işlemlerinin en kritik iki noktası olan “görsel arama” ve “karar verme” sürecinin etkin ve verimli bir şekilde yerine getirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır [11]. Arama, herhangi bir kusur tespit edildiğinde ya da muayene personelinin arama için yeterli zamanın geçtiğine karar vermesiyle son bulur. Arama aşamasının son bulması, kusur aramada geçen süre ve gözden kaçan kusurun maliyetine bağlıdır [12]. Görsel Muayenede arama aşamasının kontrolü yapan eleman için zaman alıcı ve hata yapmasına daha çok eğilimli olduğu belirlenmiştir [13]. Karar verme, parçanın belirlenen kalite kontrol kriterlerini karşılayıp karşılamadığı kararının verildiği yani kabul veya ret seçeneklerinden uygun olanın seçildiği süreçtir [14]. Bir parçanın kabul ve ret kararının doğru şekilde verilmesi çok önemlidir. Belirlenmemiş, gözden kaçan yüzey kusurları parçanın yeniden işlenmesine veya müşteriden geri dönmesine sebep olabilir. Daha da kötüsü can kayıplarına yol açabilir. Kabul edilebilir süresizliklerin kusur olarak belirlenmesi ise daha çok işleme neden olacaktır [15]. Döküm yüzeylerindeki görse arama, ilgili kalite kontrol standartları göz önünde bulundurularak kabul edilebilir olup olmadığının araştırılması olarak tanımlanabilir. Arama süreci, parçanın sadece görsel olarak değil aynı zamanda dokunsal ve işitsel gibi duyuşal ipuçlarının da incelenmesini içerir [16].

Kullanılmış parçaların kontrolünü gerçekleştiren bir üretim bakım tesisinde Görsel Muayene sırasında çeşitli iş yardımcılarının kullanımının, muayene performansını olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir [14]. Kontrol elemanlarını hata arama aşamasında sistematik ve ortak bir yaklaşım benimsemeleri, Görsel Muayene işleminde öznellikten kaynaklanan hataları azaltarak muayene sürecinin iyileştirilebileceğini göstermektedir. Ölçüm hatalarını en aza indirebilmek için kontrol elemanlarına uygun eğitim verilerek, etkili ve etkin bir arama stratejisi ile kusurların gözden kaçırması önlenmektedir. Bunun yanında iyi bir şekilde hazırlanmış muayene kılavuzları arama ve karar verme aşamasında personellerin zihinsel iş yükünü en aza indirmekle birlikte sistematik bir yaklaşım benimsemelerini sağlayarak hataları azaltmaya yardımcı olabilmektedir. Görsel Muayene işlemini gerçekleştiren personel, bir dizi standart prosedürlere veya kendi tecrübesine dayanarak malzemeyi incelemektedir [17]. Fakat muayene kılavuzunda yer alan bilgiler ve standartlar kontrol elemanları tarafından farklı şekilde yorumlanabilmekte ve muayene sırasında kontrol elemanları geçmiş deneyimlerinin etkisinde kalabilmektedirler. İnsan faktörü başta olmak üzere, muayene süreci için farklı faktörler de muayene performansını etkileyebilmektedir. Bu faktörler, ilgili parçanın kabul edilebilir olup olmadığı kararının doğru bir şekilde belirlenmesi için risk oluşturabilir [18].

Görsel Muayene eğitim sürecinin iyi bir şekilde tasarımı çok önemli olmasına rağmen literatürde bu alanda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Optik endüstrisinde gözlük camlarının kalite kontrolünün doğru bir şekilde yapılabilmesi için bir eğitim programı tasarlamayı amaçlamışlardır. 18 katılımcının her biri 50 adet gözlük

camını kontrol etmiş ve kusurlar kabul edilebilir, kabul edilemez ve kusur yok şeklinde sınıflandırılmıştır. Uzman ve acemi personellerin kusurları bulma süreleri kayıt altına alınarak arama ve karar verme aşamasındaki bilişsel süreçler incelenmiştir. Analiz sonucunda uzman personellerin acemi personellere göre kusurları bulma süresi ve kusurları tanımlayabilme performanslarının daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır [19]. Deneyimli ve acemi kaynak işçilerinin mevcut becerilerini değerlendirmek amacıyla kaynak simülasyonu kullanmış ve kaynak operasyonunda belirlenen beş parametre bazında performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneyimli kaynak işçileri, sahip oldukları bilgi ve beceri sayesinde yüksek bir başarı elde ederken acemi işçiler için bu başarı seviyesi daha düşük seviyede kalmıştır. Kaynak işleminin zorluk derecesinin artması, acemi işçilerin yanında deneyimli işçilerin de muayene performansında bir düşüşe sebep olmuştur. Yüksek kalitede kaynak sağlamak için kaynak işçilerinin eğitiminde sanal gerçeklik simülasyonlarının kullanılabilirliği önerilmiştir [20].

Döküm parçalarda oluşan kusurların tespit edilmesinin çok önemli olduğu vurgulanmış, aksi halde yeni kusurlar oluşabileceği ve çeşitli maddi kayıplar ve felaketlerle sonuçlanabileceğine dikkat çekilmiştir [21]. Günümüzde farklı alanlarda gerçekleştirilen Tahribatsız Muayene uygulamalarında yeni ve teknolojik sistemlerinin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Jant üretim hattına yerleştirilen çok kameralı bir sistem kullanarak jantın tüm yüzeylerini incelemek için tam otomatik görsel kontrol sistemi önerilmiştir. Hata tespiti için geliştirilen doğrusal parametrik model yardımı ile jant yüzeyindeki küçük kusurların bile tespit edilmesi mümkün olmuştur [22]. Görsel muayene yöntemi ile araştırılan su, petrol ve doğal gaz boru hatlarındaki korozyonun tespit edilmesinde bilgisayarlı görmeye dayalı bir yaklaşım önerilmiştir [23]. Karo imal edilen seramik işletmelerde, görsel kontrol faaliyetlerde dijital kameralar ve görüntü işleme algoritmalarının yardımcı olabileceği belirtilmektedir. Fakat kontrol elemanının karar verme kapasitesi ve bazı kusur tiplerini tolere edebilmesi özelliklerinden dolayı, uygulamada pek çok işletmede Görsel Muayeneden yararlanılmaktadır [24].

2.2. Göz Takip Sistemleri Yazın Taraması (Literature Review on Eye Tracking Systems)

Göz izleme, kullanıcıların doğal ve görsel davranışları esnasında kızılötesi ışınlar yardımıyla göz bebeklerinin ölçülmesini sağlayan teknolojidir. Kullanıcıların gerçek zamanlı olarak dünya ortamında özgürce hareket ederken tam olarak neye baktıklarını göstererek insan davranışını derin ve objektif bir bakış açısı sağlar. İnsanların çevreleriyle nasıl etkileşime girdiğini dikkatini çeken ve davranışlarını etkileyen unsurların neler olduğunu anlaşılmasına katkı sağlar. Kullanıcının nereye ne kadar süre ve kaç kere baktığına, dikkatinin nerede yoğunlaştığına ve neleri gözden kaçırdığına, göz bebeğinin farklı uyaranlara karşı nasıl tepki verdiğine ilişkin bilgilerin elde edilmesinde kullanılan yararlı bir araçtır [25]. Bu bilgiler, farklı tasarım

özelliklerine sahip göz takip cihazları aracılığıyla sağlanabilmektedir. Günümüzde göz takip sistemi teknolojisinin, pazarlama ve reklam, web sitesi tasarımı, ergonomi ve iş yeri tasarımı, insan bilgisayar etkileşimi, engellilere yardımcı uygulamalar, psikoloji, nöroloji, sanal gerçeklik ve simülasyon uygulamaları gibi çok çeşitli alanlarda uygulamaları mevcuttur.

Bir parçada kusur arama aşamasında toplanan bilgilerin neredeyse tamamı gözün farklı alanlara odaklanması sonucu elde edilmektedir. Odaklanma süresi yaklaşık 300 milisaniye olup arama süresinin yaklaşık %90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Muayene sırasında büyüteç, el feneri gibi herhangi bir yardımcı ekipman kullanmaya gerek duymadan tespit edilen kusurlar kolay görev olarak tanımlanmaktadır. Odaklanma süreleri, kolay görevler ve tecrübeli personellerde daha kısa olma eğilimindedir. Bunun yanında, kusurlar ve kusur arama stratejileri hakkında bilgi sahibi olmayan ve deneyimi az olan kontrol elemanlarının ilgili parçada kusur ararken odaklandığı yer sayıları daha fazla olabilmektedir [13]. Görsel Muayene işleminde göz izleme teknolojisinin kullanımı, kontrol elemanlarının kusur arama ve karar verme aşamasında izledikleri stratejiler ve zorlandıkları noktalar hakkında doğrudan veri elde edilmesine olanak sağlama potansiyeline sahiptir.

Tecrübeli ve az deneyimli kalite kontrol elemanlarının göz takip cihazı verileri, gizli Markov Modelleri ile değerlendirildiğinde, görsel dikkat ve odaklanma sayısı açısından belirgin farklılıklar tespit edilmiştir [26]. Görsel kontrolde insana ihtiyaç duyulan çalışma alanlarında göz takip cihazları ile kayıt alınması, kontrol elemanlarının kayda geçmeyen kıymetli bilgilerin derlenmesinde etkili bir araç olarak kullanılabilir.

2.3. NASA-TLX Yazın Taraması (Literature Review on NASA-TLX)

Ergonomi ve İnsan Faktörleri alanında zihinsel iş yükünün farklı çalışma alanlarındaki önemi her geçen gün artmaktadır. İş yükünün sayısallaştırılmasına yönelik geliştirilen yöntemler, fiziksel ve iş yükünün ilişkisini araştıran, özellikle sağlık ve güvenlik ile ilgili, uygulamalı çalışmalar on yıllık üç dönem için özetlenmiştir [27]. Zihinsel iş yükünü belirlemek için literatürde birçok yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemler temel olarak fizyolojik ölçüm, subjektif ölçüm ve görev ölçümü olarak sınıflandırılmıştır.

NASA-TLX (The National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index, NASA-TLX), güvenilir ve geçerliliği ispatlanmış zihinsel iş yükü değerlendirme ölçeklerinden biridir [28]. Zihinsel, fiziksel ve zamansal talepler görevin karakteristiğini; performans, çaba davranışsal karakteristiğini ve rahatsızlık seviyesi ise bireysel karakteristiği oluşturmaktadır [29]. Ölçekte yer alan fiziksel iş yükü, fiziksel aktivitelerin zihinsel iş yükünün algılanması üzerinde potansiyel etkisi ortaya çıkarılmasını amaçlamaktadır [30]. NASA-TLX deneysel görevlerde (Fittsberg görevi, seçim reaksiyon süresi, benzer/farklı

kararlar, zihinden aritmetik, zihinsel rotasyon vb.), görev kontrol yönlendirme benzetimi ve uçuş simülasyonlarında uygulanmaktadır. NASA-TLX, görsel ve/veya işitsel göstergeler, sesli ve/veya manuel veri giriş ekipmanları ve sanal/arttırılmış görüşü de kapsayan çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [31]. Çalışmaların bir bölümü, NASA-TLX puanlamalarının ve yorgunluk, zorlanma, deneyim ve durum farkındalığı gibi diğer performans göstergelerinin olası ilişkilerinin belirlenmesine yöneliktir. Diğer NASA-TLX çalışmaları fizyolojik (kardiyovasküler, fiziksel ve deri ya da beyin ilişkili) fonksiyon gibi iş yükünün farklı boyutlarını değerlendirmeyi kapsar [32, 33]. Geliştirilmesinden günümüze, uçuş hava kontrol, otomobil, insansız sistemler, nükleer enerji santralleri ve sağlık alanında iş yükünün değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Beyin bilgisayar ara yüzü çalışmasında ise, katılımcıların galvanik deri direnci, göz bebeği değişim oranı ve göz kırpması oranı verileri göz takip sistemi ile toplanmıştır. Her bir görevden sonra katılımcılar NASA-TLX formlarını doldurmuş ve katılımcıların görevlerdeki başarı düzeylerinin belirlenmesi mümkün olmuştur [34].

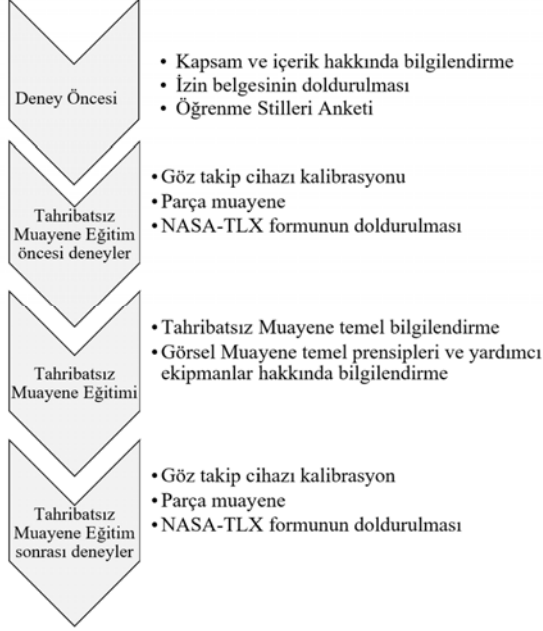
2.4. Öğrenme Stilleri Anketi Yazın Taraması (Literature Review on Learning Styles Questionnaire)

Öğrenme biçimi özellikleri de psikolojik, sosyolojik ve nörofizyolojik nedenlere bağlı olarak kişiden kişiye göre değişebilmektedir. Öğrenenlerin farklı bağlamlarda farklı öğrenme biçimlerine sahip olduğu kabul edilebilir ancak çoğu belli bir öğrenme biçimine yoğunlaşmaktadır [35]. Bu noktada, tüm öğrenenlere en uygun şekilde hitap edebilecek tek bir yöntemin olmadığı kabul edilmekle birlikte, öğretim tasarımı açısından yönetilebilecek bazı özellikler mevcuttur [36]. [37] hazırladıkları raporda yer alan 71 model, farklı öğrenme biçim ve bilişsel biçimleri özetlemiştir. E-öğrenmede, öğrenme stillerine uygun olarak kişiselleştirmeye ilişkin uygulamada Gardner'ın çoklu zeka teorisi dikkate alınmış, farklı stillerin tek bir programına nasıl entegre edilebileceği tartışılmıştır [38]. Öğrenenlerin öğrenim biçimine göre, ders içeriği tasarımında tasarımı, Memletics Öğrenme Biçimi Ölçeği (Memletics Learning Style Inventory) da kullanılabilir [39].

3. DENEYSEL METHOD (EXPERIMENTAL METHOD)

Önerilen yaklaşım dört temel adımdan oluşmaktadır (Şekil 1). Deneylere başlamadan önce, katılımcılara çalışma amacı ve içeriği hakkında bilgi verilmelidir. Her katılımcının izin formlarını doldurması istenir. Öğrenme Stilleri Anketi uygulanır. Elde edilen sonuçlar, Tahribatsız Muayene eğitiminin tasarımına katkıda bulunur. Görsel Muayene öncesinde, her bir katılımcı için göz takip cihazı kalibrasyonu gerçekleştirilir. Kusurlu parçaların Görsel Muayene sonrasında, katılımcıların NASA-TLX formunu doldurması istenir. Üçüncü adımda Tahribatsız Muayene temel konular ve Görsel Muayenede temel prensipler ve kullanılan ekipmanlar hakkında bilgilendirme yapılır. Eğitim sonrası deneylerde her bir katılımcı için göz takip cihazı kalibrasyonu gerçekleştirilir. Muayene işlemini tamamlayan

katılımcılar yeniden NASA-TLX formunu doldururlar. Böylece 4. Adım tamamlanarak istatistiksel analizler için veriler derlenmiş olur.



Şekil 1. Önerilen yaklaşım temel adımları
(Basic steps of the proposed approach)

3.1. Deney Öncesi Bilgilendirme (Information about the Experiments)

Deney öncesinde her bir katılımcıya, temel amaçları ve çalışma kapsamı kısaca açıklanır. Deney sırasında, göz takip cihazı kullanımından rahatsızlık duyan ya da herhangi başka sebeplerle deneyden ayrılmak isteyen katılımcılara istedikleri anda deneye son verebileceklerine ilişkin bilgilendirme yapılır. Bu ve benzeri deneysel çalışmalar tamamen gönüllük esasına dayandığından, deneye başlamadan önce her katılımcı tarafından bilgilendirilmiş gönüllü olur formunun imzalanması gerekmektedir. Sadece gönüllü onam formunu imzalayan katılımcılar çalışmaya dahil edilir. Katılımcılar, deney çizelgesine uygun olarak, ilgili saat diliminde deneylerin gerçekleştirileceği laboratuvara teker teker alınırlar. Deneye başlamadan önce her bir katılımcıya, deney protokolü, kontrol masasında bulunan kontrol parça(lar)ı, ve gerektiğinde kullanabileceği yardımcı ekipmanlar tanıtılır. Görsel Muayene sırasında tespit edebildiği kusurları sesli olarak da teyit edebileceği (think aloud) bildirilir.

Çalışmada, genel kabul görmüş yedi öğrenme stiline (işitsel, görsel, anlatım, mantık ve matematiksel, fiziksel ya da dokunsal, sosyal, bireysel) yatkınlığın belirlenmesine yardımcı olan, 70 sorudan oluşan Öğrenme Stilleri Anketi, Türkçe'ye çevirisi yapılarak kullanılmıştır [40]. Katılımcılardan soruları kendilerine en uygun gelen seçeneği (0: Hayır, 1: Bazen, 2: Evet) değerlendirme formuna işaretlemeleri istenmektedir. En yüksek puan katılımcının

baskın olan öğrenme stilini temsil etmektedir. Her bireyin farklı bilgi işleme ve öğrenme süreci olabilmektedir. Bu yüzden, katılımcıların öğrenme stillerini temel alınarak, eğitim içeriği, kapsamı ve kullanılan destek teknolojiler tasarlanmalıdır. Bir katılımcının sorulara verdiği cevaplar ve puanlama, Şekil 2'de yer almaktadır. Anket sorularına verilen cevaplar için, genel puan değerlendirmesinde en fazla puan, katılımcının öğrenme stilini göstermektedir. Örnek puanlama hesaplamasına göre öğrencinin baskın öğrenme stili, görsel öğrenme olarak belirlenmiştir.

1						2				36				0					
2						1				37									1
3			0							38	0								
4					2					39		0							
5									1	40								0	
6								2		41					1				
7		2								42			1						
8	2									43	1								
9									2	44		0							
10								0		45			1						
11	2									46									1
12									0	47			1						
13						2				48		0							
14								0		49						1			
15		1								50								1	
16					2					51			1		1				
17									0	52		1							
18								2		53			1						
19				2						54									1
20								0		55			1						
21			1							56				1					
22						2				57	1								
23								0		58							0		
24					2					59	1								
25		1								60				0					
26					2					61				0					
27								2		62								0	
28					1					63		1							
29	2									64						1			
30		0								65	1								
31						0				66			1						
32	0									67									1
33			1							68				2					
34				0						69	2								
35		2								70					1				
		6	6	3	6	7	8	5				6	2	5	5	4	1	4	

Genel Toplam						
Görsel	Sözel	İşitsel	Kinestetik	Mantıksal	Sosyal	Bireysel
12	8	8	11	11	9	9

Şekil 2. Örnek öğrenme stilleri anket değerlendirme formu
(An example of Learning Styles Questionnaire evaluation form)

3.2. Deney Aşaması (Experiment Stage)

Deneylerin, çevresel faktörlerden olumsuz olarak etkilenmesini önlemek üzere, 20-25°C oda sıcaklığında ve aydınlatma düzeyi 250 lx olan bir laboratuvarında gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Göz takip cihazı, katılımcılar tarafından takıldıktan sonra, göz hareketlerinin doğru şekilde tespit edilebilmesi için cihazın her bir katılımcı için kalibrasyonu yapılmalıdır. Kalibrasyon işlemi

tamamlandıktan sonra kayda başlanır ve her bir katılımcı tanımlanan parçaları muayene eder ve parçalardaki kusurlar hakkında sesli yorumlarda bulunur.

Görme olayı sırasında göz sürekli olarak odaklanma (fixation) ve sıçrama (saccade) hareketi yapmaktadır. Odaklanma, gözün 100-200 milisaniye boyunca bir noktada hareketsiz kalmasıdır. Sıçrama ise iki odaklanma noktası arasında oluşan kayma hareketi olarak adlandırılmaktadır. Sıçrama süresi 10 ila 100 milisaniye arasında değişmektedir [41]. Göz hareketleri ile ilgili çalışmalarda analiz edilen verilerin temelinde odaklanma ve sıçrama hareketleri yer almaktadır. Göz takip sistemleri yardımıyla odaklanma, sıçrama, bakış güzergâhı, odaklanma sayısı, odaklanma süresi, göz bebeği çapı verileri derlenerek, sıcaklık haritaları oluşturulabilir.

3.3. Deney Sonrası (After the Experiments)

Her bir katılımcı Görsel Muayene işlemini tamamladıktan sonra NASA-TLX formunu doldurmalıdır. Elde edilen puan,

deney sırasında kusurları bulmaya çalışırken zihinsel olarak ne kadar zorlandığına yönelik bir gösterge olarak kullanılabilir. Katılımcının zihinsel ve fiziksel zorlanmasını değerlendirebilmek için, NASA-TLX ilk bölümde yer alan “zihinsel zorlanma, fiziksel zorlanma, zaman baskısı, performans düzeyi, çabalama düzeyi ve gerginlik” başlıkları altındaki altı faktörün her biri, katılımcılar tarafından 0 ile 100 arasında puanlandırılmalıdır. İkinci bölüm, altı faktörün toplam 15 ikili karşılaştırmasını içermektedir. İlk kısımda her bir faktöre ait elde edilen puanlarla ikinci kısımdan elde edilen ağırlıkların çarpılıp toplanmasıyla ağırlıklı zihinsel zorlanma skoru elde edilmektedir. Deneyler sırasında kullanılan Türkçe form örneği I. Bölüm Şekil 3’de, II. Bölüm Şekil 4’de verilmiştir.

3.4. Tahribatsız Muayene Eğitimi (Non Destructive Testing Training)

Tahribatsız Muayene eğitimi kapsamında, tahribatsız muayenenin önemi, tahribatsız muayene yöntemleri, Görsel Muayenenin önemi ve diğer yöntemlerle ilişkisi, ilgili kalite

1.Göreviniz Zihinsel Olarak Sizi Ne Kadar Zorladı? (Zihinsel Zorlanma)																				
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
2.Göreviniz Fiziksel Olarak Sizi Ne Kadar Zorladı? (Fiziksel Zorlanma)																				
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
3.Görevinizi Yetiştirmek için Ne Kadar Acele Etmek Zorunda Kaldınız? (Zaman Baskısı)																				
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
4.Görevinizde Sizde Ne Kadar Başarılıydınız? (Performans Düzeyi)																				
100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
5.Görevinizi Yaparken Ne Kadar Çaba Gösterdiniz? (Çabalama Düzeyi)																				
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
6.Görevinizi Yaparken Kendinizi Ne Kadar İsteksiz ve Gergin Hissettiniz? (Gerginlik)																				
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Şekil 3. Deneylerde kullanılan Türkçe NASA-TLX form, I.Bölüm (NASA-TLX Turkish Form, Part I)

Aşağıda İkili Olarak Karşılaştırılan Faktörlerden Sizce Daha Önemli Olanı İşaretleyiniz

Zihinsel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Zihinsel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Zihinsel Zorlanma	<input type="checkbox"/>
Fiziksel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Zaman Baskısı	<input type="checkbox"/>	Performans Düzeyi	<input type="checkbox"/>
Zihinsel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Zihinsel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Fiziksel Zorlanma	<input type="checkbox"/>
Çabalama Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Gerginlik	<input type="checkbox"/>	Zaman Baskısı	<input type="checkbox"/>
Fiziksel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Fiziksel Zorlanma	<input type="checkbox"/>	Fiziksel Zorlanma	<input type="checkbox"/>
Performans Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Çabalama Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Gerginlik	<input type="checkbox"/>
Zaman Baskısı	<input type="checkbox"/>	Zaman Baskısı	<input type="checkbox"/>	Zaman Baskısı	<input type="checkbox"/>
Performans Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Çabalama Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Gerginlik	<input type="checkbox"/>
Performans Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Performans Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Çabalama Düzeyi	<input type="checkbox"/>
Çabalama Düzeyi	<input type="checkbox"/>	Gerginlik	<input type="checkbox"/>	Gerginlik	<input type="checkbox"/>

Şekil 4. Deneylerde kullanılan Türkçe NASA-TLX form, II.Bölüm (NASA-TLX Turkish Form, Part II)

standartları, çeşitli kaynak, döküm, dövme hataları, Görsel Muayene sırasında ortamın özellikleri ve bakış açısının önemi, Görsel Muayene sırasında kullanılan ekipmanlar ve Görsel Muayene sonucunun raporlanması başlıklarına değinilmektedir. Tahribatsız Muayene Uzmanlığı Sertifika Programlarında, akredite olan farklı kurumlar tarafından, belli bir metot ve seviye için kapsamlı eğitimler düzenlenmektedir. Teorik ve pratik toplam eğitim süreleri, Tahribatsız Muayene Sertifika türüne bağlı olarak 16 saat ile 80 saat arasında değişebilmektedir. Standartlara uygun olarak asgari eğitim süresini tamamlayan kursiyerler, genel bilgi sınavı, özel bilgi sınavı ve pratik bilgi sınavlarından yeterli puanı almak zorundadır.

Görsel Muayene sırasında, katılımcıların kusur arama ve karar verme sürecinin değerlendirilmesini amaçlayan çalışma kapsamına uygun olarak içeriği sadeleştirilen temel Tahribatsız Muayene ve Görsel Muayene bilgilendirme eğitimi, bir saat ile sınırlı tutulmuş ve genel bilgilerin aktarılmasını amaçlamıştır. Eğitim sonrasında, kusurların aynı deney düzeneği kullanılarak muayene işlemlerini tekrarlamak üzere, katılımcılar kendilerine tahsis edilen saatte laboratuvara teker teker alınırlar. Deneyler, göz takip cihazının kalibrasyonu ile başlar. Muayene sonrasında her bir katılımcı NASA-TLX formunu yeniden doldurur.

4. TASARIM VE UYGULAMA (DESIGN AND APPLICATION)

4.1. Çalışma Örnekleme (Participants)

Çalışma sonuçlarının doğruluğunun yüksek olması için uygun örneklem sayısının belirlenmesi oldukça önemlidir. Göz takip cihazıyla yapılan çalışmalarda cihazın maliyetinin yüksek olması, deney sırasında cihazın sadece tek bir katılımcı tarafından kullanılabilir olması ve verilerin analiz sürecinin zaman alıcı olmasından dolayı örneklem sayısının belirlenmesi için temel standartlar tanımlanmıştır [42]. Bu standartlara göre, çalışma sonuçlarının doğruluğunun %80 oranında olması ve okuma / web sayfası analizi gibi statik bir çalışma yapılmak istendiğinde örneklem sayısının en az 14; çalışma sonuçlarının doğruluğunun %90 oranında olması istendiğinde ise örneklem sayısının en az 21 olması gerekmektedir. Göz hareketlerinin art arda olduğu ve odaklanma noktalarının incelendiği çalışmalarda ise doğruluk oranının %80 oranında olması ve tekrar eden bir çalışma yapılmak istendiğinde örneklem sayısının en az 21; doğruluk oranının %90 oranında olması istendiğinde ise örneklem sayısının en az 34 olması gerekmektedir [43].

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde 2018- 2019 Eğitim-Öğretim yılında öğrenimine devam eden, çalışmanın içeriği hakkında bilgi verildikten sonra gönüllü olarak katılım sağlayacaklarını bildiren, sağlıklı, yaşları 20 ile 25 arasında değişen, toplam 25 (18 kız 7 erkek) öğrenci ile gerçekleştirilmiştir.

4.2. Deneysel Planı (Experiment Plan)

Deneyler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'ndan 25403353-050.99-E.27766 sayılı karar ile izin alınmıştır.

Katılımcıların göz hareketleri (odaklanma sayısı, odaklanma süresi, göz bebeği çapındaki değişim vb.) mobil bir göz takip cihazı (Tobii-Pro Glasses-2) ile kayıt altına alınmıştır. Deneyler sırasında kullanılan Göz Takip Sistemi, göz takip cihazı, tablet ve kayıt ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 5). Katılımcının görevleri gerçekleştireceği laboratuvardaki masada gözle kontrol sırasında kullanılacak yardımcı ekipmanlar (ışık şiddeti ayarlanabilen el feneri, hassas ölçüm yapmaya yarayan dijital kumpas, cetvel ve büyüteç) bulunmaktadır. Yardımcı ekipmanlar hem arama hem karar verme aşamalarının doğruluğunu arttırmak için kullanılabilir [12, 14]. Deneyde kullanılan döküm parçaları ve yardımcı ekipmanlar Şekil 6'da temsil edilmektedir.



Şekil 5. Deneysel ortamda kullanılan Göz Takip Sistemi [44]
(The Eye Tracer System used during the experiments)



Şekil 6. Deneysel ortamda kullanılan parçalar ve yardımcı ekipmanlar
(The parts and tools used during the experiments)

Göz takip cihazı kullanılarak gerçekleştirilen kontrol işlemi sırasında, katılımcılardan belirli bir süre içinde (5 dakika) üç adet döküm parçayı kontrol etmeleri ve parçalardaki kusurları belirlemeleri istenmiştir. Böylece, NASA-TLX formunda yer alan zaman baskısı ölçütünün de değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Deneyde kullanılan döküm parçaları, eğitim ve uygulama faaliyetlerinin de gerçekleştirildiği akredite bir kuruma ait, Tahribatsız Muayene Merkezindeki Görsel Muayene sertifikalı eğitimleri sırasında kullanılan döküm parçalarıdır. Sertifika eğitimlerinde de görev alan uzman personel, döküm

parçalarda tek tip kusur (çatlak) bulunduğu ve kusurların tespit edilmesinin zorluk derecelerinin parçadan parçaya farklılık gösterdiği bilgisini vermiştir. 1. Parçaya ait kusur, herhangi bir yardımcı ekipman kullanılmadan, çıplak gözle ilk bakışta fark edilebilir bir kusurdur ve bu nedenle “kusur tipinin belirlenmesi kolay olan parça” olarak tanımlanmıştır. 2. Parçada yer alan kusurun belirlenebilmesi 1. Parçaya kıyasla daha çok dikkat gerektirdiği için 2. Parça “kusur tipinin belirlenmesi zor olan parça” olarak tanımlanmıştır. 3. Parçada bulunan kusur ise ilk bakışta fark edilmeyen, parçanın üst yüzeyinde yer almayan, ancak ve ancak yardımcı ekipmanlar kullanılarak belirlenebilen bir kusur olduğu için “kusur tipinin belirlenmesi çok zor olan parça” olarak tanımlanmıştır. Tahribatsız Muayene yöntemlerinden biri olan manyetik parçacık testiyle malzemenin yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerinde meydana gelen çatlaklar, katlanmalar, kaynak hataları ve boşluk hataları başarıyla analiz edilebilmektedir. Deneyde kullanılacak döküm parçaları için, akredite kurum tarafından gerçekleştirilen manyetik parçacık testi görüntüleri Şekil 7’de temsil edilmektedir. Kusur zorluk dereceleri ve tasarımları farklı olan döküm parçaları, *Parça1*, *Parça2* ve *Parça3* olarak isimlendirilmiştir ve test görüntülerindeki çizgiler kusurlara karşılık gelmektedir.

Eğitim öncesi ve eğitim sonrası deneyler 09:15–16:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Her katılımcı, laboratuvarında kendilerine tahsis edilen saatte, kalibrasyon sonrasındaki 5 dakikalık sürede görevleri tamamlamışlardır. Şekil 8 deney aşamasında olan bir katılımcıyı temsil etmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Öğrenme Stilleri Anketi uygulanan katılımcıların %40’ının mantıksal öğrenme stiline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu öğrenme stiline sahip olan bireyler soyut ve kavramsal olarak düşünüp mantık yürütme becerilerine sahiptir. Sebep-sonuç ilişkisi kurma yetenekleri gelişmiştir. Bilişsel düşünme gerektiren deneylere katılmayı severler. Daha önceki bilgileriyle yeni öğrendikleri bilgiler arasında bağ kurarlar [45]. Bu bilgilere dayanarak hazırlanan Tahribatsız Muayene ve Görsel Muayene temel eğitimi, görsel çizimleri de içeren slaytlardan yararlanılarak sözlü anlatım şeklinde

planlanmıştır. Eğitim, 60 dakika boyunca slaytlardan yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Uzmanlar tarafından gerçekleştirilen eğitimin amacı, öğrencilerin Tahribatsız Muayene yöntemleri hakkında özet teorik bilgi sahibi olmalarını sağlamak ve Görsel Muayene yöntemini uygulayabilmeleri için gerekli alt yapıyı oluşturmaktır.

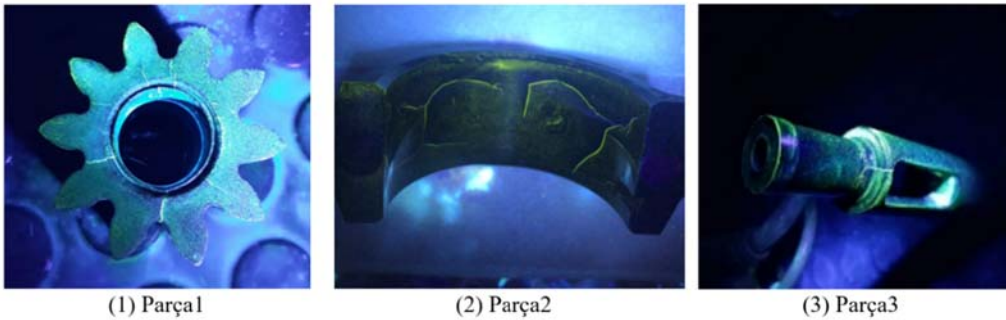


Şekil 8. Deney aşamasında olan bir katılımcı örneği
(An example of a participant during the experiment)

Deneyler tamamlandığında, her bir katılımcı için NASA-TLX puanları hesaplanmış ve göz takip cihazı yardımı ile de kayıt altına alınan verilerden, çalışma kapsamı ile ilişkili, odaklanma, odaklanma süresi, kusurlara odaklanma sayısı üzerine analizler gerçekleştirilmiştir.

5.1. Göz Takip Cihazı ile Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesi (Assessing Data Obtained by the Eye Tracker)

Deneylere katılan 25 katılımcıdan ikisine ait göz hareketleri göz takip cihazı yardımıyla tam olarak algılanmadığı için değerlendirmeye alınmamış ve 23 katılımcı verileri analiz edilmiştir. Amaç, katılımcıların baskın öğrenme stilleri dikkate alınarak tasarlanan temel Tahribatsız Muayene eğitiminin parçalar üzerindeki kusurların tespit edilmesinde, eğitim öncesi ve eğitim sonrası verilerinin incelenmesi ayrıca parça kusurlarının tespitinin zihinsel zorlanmaya etkisinin araştırılmasıdır. İstatistiksel analizler SPSS 25.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim öncesi ve sonrasında göz takip cihazı ile kaydedilen göz hareketi verilerinin karşılaştırılması için izleyen hipotezler değerlendirilmiştir:



Şekil 7. Deneyde kullanılan döküm parçaların Manyetik Parçacık Test Görüntüleri
(Magnetic Particle Inspection for the casted parts in concern)

H_0 : %95 güven seviyesinde eğitimden önce ve sonra veriler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur

H_a : %95 güven seviyesinde eğitimden önce ve sonra veriler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır

5.1.1. Ortalama odaklanma süresi (Average fixation duration)

Toplam odaklanma süresi (milisaniye), toplam odaklanma sayısına (adet) bölünerek elde edilen ortalama odaklanma süresinin, her bir döküm parça için eğitimden önce ve eğitimden sonraki değerleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir. *Parçal*'e ait ortalama odaklanma süresi verileri normal dağılım göstermediği için, Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi'nin parametrik olmayan testlerdeki karşılığı olan Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi uygulanmıştır. *Parçal* için analiz sonuçları Tablo 1'de yer almaktadır. Eğitimden önce ortalama odaklanma süresinin ortalaması 914,226 iken, eğitim sonrası ortalama 919,884'e yükselmiştir. 15 katılımcının eğitimden sonraki odaklanma sürelerinde artış görülmektedir. Analiz sonucu anlamlılık değeri ise 0,447 olarak bulunmuştur. Bu değer, %5 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için H_0 hipotezi kabul edilir. *Parçal*'in gözle kontrolü sırasında kaydedilen ortalama odaklanma süresinin, eğitimden önce ve sonraki değerleri arasında farklılık yoktur. *Parça2*'ye ait ortalama odaklanma süresi verileri normal dağılıma uyduğu için Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi uygulanmıştır. Eğitimden önce ortalama odaklanma süresinin ortalaması 753,907 iken,

eğitim sonrası ortalama 983,265'e yükselmiştir. Analiz sonucu hesaplanan anlamlılık değeri ise 0,009 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, %5 anlamlılık düzeyinden küçük olduğu için H_0 hipotezi reddedilir. Buradan, *Parça2*'nin gözle kontrolü sırasında kaydedilen ortalama odaklanma süresinin eğitim öncesi ve sonrası değerleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna ulaşılır. *Parça3*'e ait ortalama odaklanma süresi için gerçekleştirilen Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi sonucuna göre, eğitimden önce ortalama odaklanma süresinin ortalaması 713,304 iken, eğitim sonrası ortalama 820,978'e yükselmiştir. *t*-Testi sonucunda anlamlılık değeri 0,185 olarak hesaplanmış ve %5'den büyük olduğu için, *Parça3* için ölçülen ortalama odaklanma süresinin eğitim öncesi ve sonrası değerleri arasında bir farklılık olmadığını göstermektedir.

5.1.2. Toplam odaklanma sayısı (Total fixation count)

Katılımcıların, eğitim öncesi ve eğitim sonrasında, kontrol ettikleri döküm parçalara odaklanma sayıları (adet) arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı incelenmiştir. *Parçal*'e ait odaklanma sayıları verileri normal dağılım gösterdiği için Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi uygulanmıştır. Tablo 2'de analiz çıktısı yer almaktadır. Eğitimden önce ve sonra *Parçal* için toplam odaklanma sayıları arasında farklılık olmadığı görülmektedir (sig.=0,138>0,05). Fakat katılımcıların eğitimden sonra (\bar{X} =60,91) *Parçal*'e eğitimden önceye (\bar{X} = 51,57) kıyasla kusur tespiti için parçaya daha fazla odaklandıkları görülmektedir. *Parça2*'ye ait toplam odaklanma sayısı verileri normal dağılım

Tablo 1. Ortalama odaklanma süresi analizi (Average fixation duration analysis)

<i>Parçal</i>					
	N	Ort.	Std. Sapma	Enk.	Enb.
Parçal_EÖ	23	914,998	464,998	182,592	2220,057
Parçal_ES	23	919,993	430,185	335,384	2220,488
	N	Ort.Sıra	Sıra toplam		
Parçal_EÖ	Negatif sıra	8 ^a	14,13	113,00	
Parçal_ES	Pozitif sıra	15 ^b	10,87	163,00	
	Bağlar	0 ^c			
	Toplam	23			
^a Parçal_ES_Ort._Odaklanma_Süresi<Parçal_EÖ_Ort._Odaklanma_Süresi					
^b Parçal_ES_Ort._Odaklanma_Süresi>Parçal_EÖ_Ort._Odaklanma_Süresi					
^c Parçal_ES_Ort._Odaklanma_Süresi=Parçal_EÖ_Ort._Odaklanma_Süresi					
Z	-0,760 ^b				
<i>Parça2</i>					
	N	Ort.	Std.Sapma	Std.Hata Ort.	
Parça2_EÖ	23	753,906	387,865	80,875	
Parça2_ES	23	983,264	571,779	119,224	
	Ort.	Std.Sapma	t	Sig. (2-tailed)	
Parça2_EÖ	-229,358	382,066	-2,879	0,009	
Parça2_ES					
<i>Parça3</i>					
	N	Ort.	Std.Sapma		
Parça3_EÖ	23	713,303	379,905		
Parça3_EÖ	23	820,977	328,170		
	Ort.	Std.Sapma			
Parça3_EÖ	-107,673	377,695	-1,367		

Tablo 2. Toplam odaklanma sayısı analizi (Total fixation count analysis)

<i>Parça1</i>					
	N	Ort.	Std. Sapma	Std.Hata Ort.	
Parça1_EÖ	23	51,57	22,297	4,649	
Parça1_ES	23	60,91	24,872	5,186	
	Ort.	Std. Sapma	t	Sig. (2-tailed)	
Parça1_EÖ	-9,348	29,151	-1,538	0,138	
Parça1_ES					
<i>Parça2</i>					
	N	Ort.	Std.Sapma	Enk.	Enb.
Parça2_EÖ	23	45,22	26,938	20	144
Parça2_ES	23	46,22	22,653	13	91
	N	Ort. Sıra	Sıra		
Parça2_EÖ	Negatif sıra	11 ^a	9,36	103,00	
Parça2_ES	Pozitif sıra	11 ^b	13,64	150,00	
	Bağlar				
	Toplam	23			
^a Parça2_ES_Toplam_Odaklanma_Sayısı< Parça2_EÖ_Toplam_Odaklanma_Sayısı					
^b Parça2_ES_Toplam_Odaklanma_Sayısı> Parça2_EÖ_Toplam_Odaklanma_Sayısı					
^c Parça2_ES_Toplam_Odaklanma_Sayısı= Parça2_EÖ_Toplam_Odaklanma_Sayısı					
Z	-0,763 ^b				
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,445				
<i>Parça3</i>					
	N	Ort.	Std.Sapma	Std.Hata Ort.	
Parça3_EÖ	23	62,96	27,973	5,833	
Parça3_ES	23	63,96	25,131	5,240	
	Ort.	Std.Sapma	t	Sig. (2-tailed)	
Parça2_EÖ	1,000	41,609	-0,115	0,905	
Parça2_ES					

göstermediği için karşılaştırma yapmak için parametrik olmayan testlerden Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi uygulanmıştır. Katılımcıların eğitim öncesi ve sonrası *Parça2*'ye odaklanma sayıları arasında bir farklılık görülmemektedir (sig.=0,445>0,05). 11 katılımcının eğitimden önce (negative ranks), diğer 11 katılımcının ise eğitimden sonra (positive ranks) odaklanma sayıları daha fazladır. 1 katılımcının ise eğitim öncesi ve sonrası odaklanma sayıları eşittir. *Parça3*'e ait toplam odaklanma sayısı verileri normal dağılım gösterdiği için Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi uygulanmıştır. Katılımcıların eğitimden önce ve sonra *Parça3*'e odaklanma sayıları arasında farklılık yoktur (sig.=0,909>0,05). Fakat katılımcılar eğitimden sonra ($\bar{X}=63,96$) *Parça3*'e, eğitimden önceye ($\bar{X} = 62,96$) kıyasla çok az bir farkla da olsa daha fazla odaklandıkları görülmektedir.

5.1.3. Kusurlu alana odaklanma sayısı (Fixation count on the defected area)

Katılımcıların, kontrol ettikleri döküm parçalarda yer alan kusurlu alana odaklanma sayılarının (adet), eğitim öncesi ve sonrasında farklılık gösterip göstermediği analiz edilmiştir. *Parça1*'e ait kusurlu alana odaklanma sayısı verileri için Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi uygulanmıştır. Tablo 3'de analiz çıktısı sunulmuştur. Katılımcıların eğitimden önce ve sonra *Parça1*'deki kusurlu alana odaklanma sayıları arasında farklılık görülmemektedir (sig.=0,403>0,05). Katılımcılar

eğitimden önce ($\bar{X}=4,52$) *Parça1*'de yer alan kusura, eğitimden sonraya ($\bar{X} = 3,39$) kıyasla daha fazla odaklanmışlardır. *Parça2*'ye ait kusurlu alana odaklanma sayıları verileri normal dağılım göstermediği için Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi uygulanmıştır. Analiz sonuçları katılımcıların, eğitimden önce ve sonra *Parça2*'de yer alan kusurlu alana odaklanma sayıları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermektedir (sig.=0,298>0,05). Fakat katılımcılar eğitimden sonra kusurlu alana ($\bar{X}=15,70$) eğitimden önceye ($\bar{X}=10,39$) kıyasla daha fazla odaklanmışlardır. 23 katılımcıdan 12 tanesi (positive ranks) eğitimden sonra kusurlu alana daha çok odaklanırken 10 tanesi (negative ranks) eğitimden önce kusurlu alana daha çok odaklanmıştır. Kalan diğer katılımcının ise eğitim öncesi ve sonrası kusurlu alana odaklanma sayısı eşittir (ties). *Parça3*'e ait kusurlu alana odaklanma sayısı verileri normal dağılıma uymadığından için Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi uygulanmıştır. Katılımcıların eğitimden sonra *Parça3*'teki kusurlu alana odaklanma sayısı ($\bar{X}=6,09$), eğitimden önceki odaklanma sayısından ($\bar{X}=3,52$) daha fazladır. 11 katılımcı eğitimden sonra, 7 katılımcı eğitimden önce kusura daha çok odaklanmışlardır. 5 katılımcının ise eğitim öncesi ve sonrası kusura odaklanma sayısı farklılık göstermemektedir. Test sonucu bulunan anlamlılık değerinin 0,163 olması ise iki ölçüm arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermektedir (sig>0,05). Odaklanma sayısının yorumu ele alınan konuya göre farklılık göstermektedir. Örneğin bir

Tablo 3. Kusurlu alana odaklanma sayısı analizi (Fixation count on the defected area analysis)

<i>Parça1</i>					
	N	Ort.	Std.Sapma	Std.Hata Ort.	
Parça1_EÖ	23	4,52	4,990	1,040	
Parça1_ES	23	3,39	4,164	0,868	
	Ort.	Std. Sapma	t	Sig. (2-tailed)	
Parça1_EÖ	1,13	6,355	0,853	0,403	
Parça1_ES					
<i>Parça2</i>					
	N	Ort.	Std. Sapma	Enk	Enb
Parça2_EÖ	23	10,39	7,328	0	29
Parça2_ES	23	15,70	12,193	0	43
	N	Ort. Sıra	Sıra		
Parça2_ES	Negatif sıra	10 ^a	9,45	94,50	
Parça2_EÖ	Pozitif sıra	12 ^b	13,21	158,50	
	Bağlar	1 ^c			
	Toplam	23			
^a Parça2_ES_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı<Parça2_EÖ_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı					
^b Parça2_ES_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı>Parça2_EÖ_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı					
^c Parça2_ES_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı=Parça2_EÖ_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı					
Z	-1,040				
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,298				
<i>Parça3</i>					
	N	Ort.	Std.Sapma	Enk	Enb
Parça3_EÖ	23	3,52	3,776	0	15
Parça3_ES	23	6,09	7,816	0	32
	N	Ort. Sıra	Sıra		
Parça3_ES	Negatif sıra	7 ^a	7,64	53,50	
Parça3_EÖ	Pozitif sıra	11 ^b	10,68	117,50	
	Bağlar	5 ^c			
	Toplam	23			
^a Parça2_ES_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı<Parça2_EÖ_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı					
^b Parça2_ES_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı>Parça2_EÖ_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı					
^c Parça2_ES_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı=Parça2_EÖ_Kusurlara_Odaklanma_Sayısı					
Z	-1,396 ^b				
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,163				

resmin veya web sayfasının incelenmesi sırasında bakışların belirli bir alanda yoğunlaşması o noktanın gözlemcinin dikkatini daha çok çektiği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada olduğu gibi, belirli bir hedefi bulmaya yönelik olan arama çalışmalarında ise, belirli bir alan üzerinde yoğunlaşan odaklanma sayısı, gözlemcinin o alanı tanımlayabilme sırasında yaşadığı kararsızlığı gösterebilmektedir. Bir alandaki toplam odaklanma sayısının fazla olması, arama sürecinin düşük verimle yapıldığını göstermektedir [46].

5.1.4. Görsel muayene performansı (Visual test performance)

Eğitim öncesi ve sonrası göz takip cihazı ile elde edilen “kusurlara odaklanma sayısı” ve “toplam odaklanma sayısı” verilerinden türetilmiştir. Kusurlu alanlara odaklanma sayısının (adet), toplam odaklanma sayısına (adet) bölünmesi sonucu elde edilen bu değer, toplam odaklanma sayısının yüzde kaçının kusurlu bölgede olduğunu ifade etmektedir. Tüm parçalara ait muayene performans değerleri normal dağılıma uyduğu için Eşleştirilmiş Örneklem *t*-Testi

uygulanmıştır. Tablo 4’de analiz çıktısı sunulmuştur. Eğitim öncesi ve sonrası katılımcıların *Parça1*’deki kusurlara odaklanma yüzdeleri arasında bir farklılık olmadığını göstermektedir (sig.0,063>0,05). *Parça2* için analiz çıktısı değerlendirildiğinde, eğitim öncesi ve sonrası ölçümler arasında anlamlı bir farklılık yoktur (sig.=0,074>0,05). *Parça3* için muayene performans değerleri incelendiğinde eğitim öncesi ve sonrası sonuçları arasında anlamlı bir fark yoktur (sig.=0,418>0,05).

5.1.5. Sıcaklık haritası (HeatMap)

İncelenen alandaki odaklanma sayısı (adet) ve odaklanma süreleri (milisaniye) verilerinin birlikte oluşturdukları odaklanma yoğunluğunun görsel olarak ifade edilme şeklidir. Belirli bir alanın incelenmesi sırasında oluşan odaklanma süresinin fazla olması ilgili alanın gözlemci tarafından tanımlanmaya çalışıldığını ve anlaşılmasının güç olduğunu ifade etmektedir [47]. Göz takip sistemi yardımıyla kayıt altına alınan göz hareketlerine ilişkin veriler farklı amaçlar için analiz edilebilir. Sadece tanımlanan alan

İçin göz hareketleri incelenmek istendiğinde, ilgili alan (Area of Interest, AOI) tanımlaması yapılmalıdır. Tobii Analyzer yazılımında bulunan AOI modülü yardımıyla her bir döküm parça için kusurların yer aldığı alanlar tanımlanmıştır. Katılımcılar deney sırasında bu alanları kontrol etmişlerse, yazılım aracılığı ile derlenen odaklanma sayısı verisi, her bir katılımcı için muayene başarı ölçütü olarak değerlendirilecektir. Her bir parça için tanımlanan kusurlu alanlar Şekil 9’de temsil edilmiştir.

Şekil 10’da parçaların incelenmesi ve kusurlu alanlara odaklanma verilerinden hareketler elde edilen sıcaklık haritaları temsil edilmektedir. Katılımcının en çok yoğunlaştığı görsel dikkat alanları kırmızı ile gösterilirken daha az yoğunlaştığı alanlar açık yeşil ile gösterilmektedir. Parça üzerindeki kusurlu bölgede dar bir alanda odaklanmayı gerektirir. Tasarımın karmaşık olması ya da kusurun yüzeyde hemen tespit edilememesi durumunda, kusur arama sürecinde daha geniş bir alanda tarama yapılır. Geniş alanın rassal olarak taranması kusur tespitinde doğru karar vermeyi zorlaştırabilir ve muayene performansını azaltır. Parça tasarım geometrilerinin farklı olması ve kusurlu alanların parçaların farklı alanlarında bulunması dolayısıyla her bir katılımcıya ait sıcaklık haritaları da görev performansının değerlendirilmesine katkıda bulunabilir.

5.2. Döküm Parçalardaki Kusur Zorluk Derecelerinin Değerlendirilmesi

(Assessing the Defect Density Levels of the Casted Parts)

Shapiro-Wilk Test sonuçlarına göre eğitimden önce Parça1’in kontrolü sırasında kaydedilen ortalama odaklanma süresi ve toplam odaklanma sayısı ile eğitimden sonra Parça2 ve Parça3’ün kontrolü sırasında kaydedilen toplam odaklanma sayısı verileri normal dağılıma uymaktadır (sig. > 0,05). Diğer gruplardaki veriler normal dağılım göstermediği için parçaların karşılaştırılmasında Tek Yönlü Varyans Analizi kullanılmadığından, bu analiz parametrik olmayan testlerdeki karşılığı olan Kruskal-Wallis H Testi kullanılmıştır. İzleyen hipotezler değerlendirilmiştir:

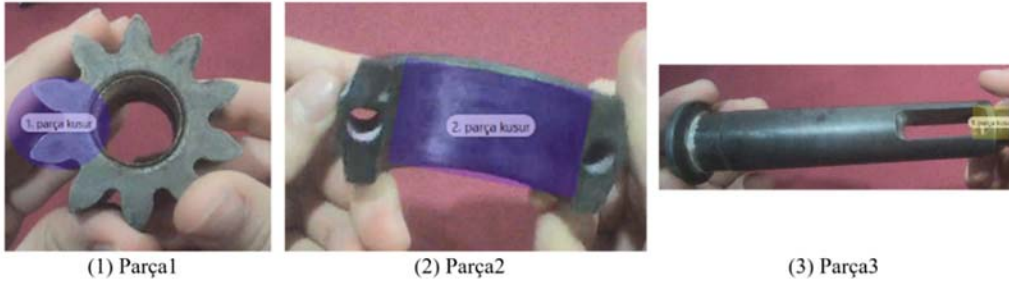
H_0 : *k* tane örnek benzer medyanlı gruplardan alınmış örneklerdir

H_a : *k* tane örnekten en az birinin medyanı diğerlerinden farklıdır

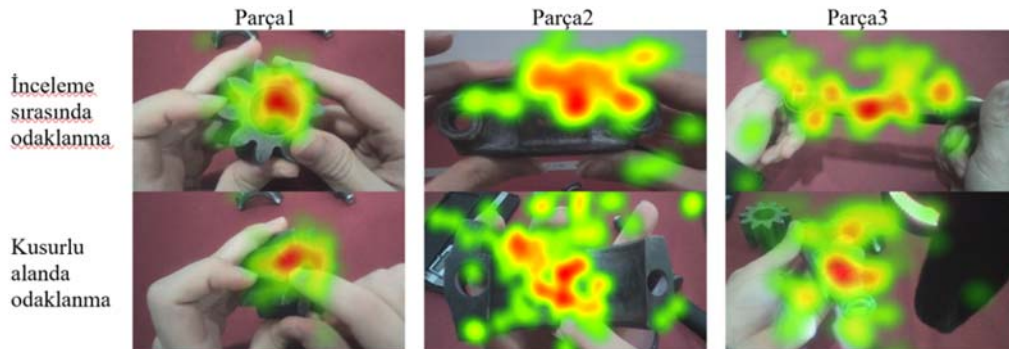
Kruskal-Wallis Testi’nde anlamlı sonuç bulunduktan sonra farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemek için parametrik olmayan çoklu karşılaştırma testleri kullanılmaktadır. Muayene edilen parçalar, ortalama odaklanma süresi ve toplam odaklanma sayısı açısından

Tablo 4. Görsel muayene performans değerlerinin analizi (Analysis for visual test performance)

Parça no	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	%95 Güven Aralığı		t	df	Sig. (2-tailed)
				Alt	Üst			
Parça1	0,037	0,091	0,019	-0,002	0,076	1,961	22	0,063
Parça2	-0,116	0,298	0,062	-0,245	0,012	-1,875	22	0,074
Parça3	-0,022	0,129	0,027	-0,078	0,033	-0,826	22	0,418



Şekil 9. Kusurlu alanlar için AOI tanımlanması (Defining AOI for the defected areas)



Şekil 10. Parça inceleme sırasında ve kusurlu alanda odaklanma için sıcaklık haritaları (Heat maps for part inspection and defected area)

karşılaştırılmış ve sonuçları Tablo 5’de özetlenmiştir. Test sonucuna göre parçalar arasında, ortalama odaklanma süresi bakımından anlamlı bir farklılık görülmemektedir (sig.>0,05). Fakat katılımcılar eğitimden önce, en çok zamanı *Parça1*’in kontrolünde harcarken ($\bar{X}=41,61$) en az zamanı *Parça3*’ün kontrolünde ($\bar{X}=29,83$) harcamışlardır. Eğitimden sonra ise *Parça2*’nin kontrolü sırasında ($\bar{X}=37,78$) diğer parçalara kıyasla daha uzun süre harcamışlardır. Katılımcılar, eğitim öncesinde *Parça3* kusurunu tespit edemediklerinde, toplam muayene süresi bir zaman baskısı yarattığı için, arama sürecinde daha az zaman harcadıklarını bildirmişlerdir. *Parça2*’nin tasarımı çok karmaşık olmamasına rağmen, kusurlar iç yüzeyde bulunduğu için, etkin arama stratejisi uygulanmadığından, kusurların hızlı bir şekilde tespiti mümkün olmamıştır.

Parçalar, toplam odaklanma sayıları göz önünde bulundurularak analiz edildiğinde, katılımcıların Eğitimden önce (EÖ) ve eğitimden sonra (ES) en çok *Parça3*’e odaklandıkları belirlenmiştir (EÖ: $\bar{X}=43,04$; E: $\bar{X}=40,11$). Bunu sırasıyla *Parça1* (EÖ: $\bar{X}=35,26$; ES: $\bar{X}=37,15$) ve *Parça2* (EÖ: $\bar{X}=26,70$; ES: $\bar{X}=27,74$) izlemektedir. Test sonucuna bakıldığında ise parçalar arasında, eğitimden önce kaydedilen toplam odaklanma sayıları bakımından farklılık olduğu görülmektedir (sig.=0,022<0,05).

5.3. NASA-TLX Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Assessing the NASA-TLX Results)

Katılımcılar, eğitim öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen deneyleri tamamladıklarında, NASA-TLX formunu doldurmuşlardır. Hesaplanan puanlar normal dağılım gösterdiği için Eşleştirilmiş Örneklem t-testi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 6’da sunulmuştur. NASA-TLX ağırlıklı puanın eğitimden önce ve sonraki değerleri arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (sig.=0,022<0,05). Katılımcılar görevleri yerine getirirken eğitimden önceye ($\bar{X}=38,488$) kıyasla eğitimden sonra ($\bar{X}=31,861$) daha az zorlanmışlardır.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda kadın ve erkeklere ait NASA-TLX puanları normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden ikili karşılaştırmalarda İki Örneklem t-Testi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 7’de yer almaktadır. Erkekler (EÖ, $\bar{X}=36,884$; ES, $\bar{X}=28,444$) kadınlara (EÖ, $\bar{X}=39,190$; ES, $\bar{X}=33,357$) kıyasla parçaların kontrolü sırasında zihinsel ve fiziksel olarak daha az zorlanmışlardır. İki Örneklem t-Testinin varsayımlarından biri de varyansların homojen olmasıdır. Varyansın homojen olup olmaması Levene’s Testiyle belirlenmektedir. Levene’s Testindeki EÖ ve ES anlamlılık değerleri 0,113 ve 0,889

Tablo 5. Eğitim önce ve sonrasında parçaların odaklanma süresi ve toplam odaklanma sayısı açısından karşılaştırılması
(Comparison of parts before and after the training based on fixation duration and total fixation count)

Ortalama Odaklanma Süresi EÖ			Toplam Odaklanma Sayısı EÖ		
Parça No	N	Ort. Sıra	Parça	N	Ort. Sıra
Parça1	23	41,61	Parça1	23	35,26
Parça2	23	33,57	Parça2	23	26,70
Parça3	23	29,83	Parça3	23	43,04
Toplam	69		Toplam	69	
Ortalama Odaklanma Süresi ES			Toplam Odaklanma Sayısı ES		
Parça No	N	Ort. Sıra	Parça	N	Ort. Sıra
Parça1	23	35,70	Parça1	23	37,15
Parça2	23	37,78	Parça2	23	27,74
Parça3	23	31,52	Parça3	23	40,11
Toplam	69		Toplam	69	
				EÖ	ES
Kruskal-Walis H	4,143	1,162	Kruskal-Walis H	7,647	4,771
df	2	2	df	2	2
Asym.Sig.	0,126	0,559	Asym.Sig.	0,922	0,092

Tablo 6. Eğitim öncesi ve sonrası NASA-TLX puanlarının karşılaştırılması
(Comparison of NASA-TLX scores before and after the training)

	Ort.	Std.Sapma	Std.Hata Ort.				
NASA_TLX Ağırlıklı_EÖ	38,488	10,938	2,280				
NASA_TLX Ağırlıklı_ES	31,861	8,980	1,872				
%95 Güven Aralığı							
	Ort.	Std.Sapma	Std.Hata Ort.	Alt	Üst	t	df Sig.(2-tailed)
NASA_TLX Ağırlıklı_EÖ	6,626	12,897	2,689	1,049	12,204	2,464	22 0,022
NASA_TLX Ağırlıklı_ES							

Tablo 7. NASA-TLX puanlarının cinsiyet açısından değerlendirilmesi (Assessing NASA-TLX scores based on gender)

	Cinsiyet	N	Ort.	Std.Sapma	Std.Hata Oranı	
NASA_TLX	Kadın	16	39,189	9,136	2,284	
Ağırlıklı_EÖ	Erkek	7	36,884	15,022	5,677	
NASA_TLX	Kadın	16	33,356	8,617	2,154	
Ağırlıklı_ES	Erkek	7	28,444	9,511	3,595	
		F	Sig.	t	df	Sig.(2-tailed)
NASA_TLX	Eşit varyans varsayımı	2,736	0,113	0,457	21	0,653
Ağırlıklı_ES	Eşit varyans varsayımı yok			0,377	8,015	0,716
NASA_TLX	Eşit varyans varsayımı	0,020	0,889	1,220	21	0,236
Ağırlıklı_ES	Eşit varyans varsayımı yok			1,172	10,539	0,267

olarak hesaplanmıştır. Bu değerler %5 anlamlılık değerinden büyük olduğu için grupların varyansları arasında anlamlı bir farklılık yoktur (varyanslar homojendir). *t*-Testi sonucu ise EÖ 0,653 ve ES 0,236 olarak bulunmuştur. Hesaplanan NASA-TLX puanlarında kadın ve erkekler arasında anlamlı bir farklılık görülmemektedir (sig >0,05).

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tahribatsız Muayene ve spesifik olarak Görsel Muayene faaliyetleri günümüzde yüksek teknoloji ekipmanlar yardımı ile hızlı bir şekilde tamamlanabilmektedir. Fakat yüksek yatırım maliyetleri ya da belli sektörlerde kişisel yargı ve tecrübelerle olan gereksinimden dolayı, Görsel Muayene için yetişmiş kontrol elemanları tarafından gerçekleştirilmektedir. Muayene faaliyetlerinde deneyim (tecrübe), zaman içerisinde farklı durumlarla karşılaşma ya da tanımlı prosedürlerin tekrarlı uygulaması ile kazanılabilir. Bilgi ve tecrübelerin daha az deneyimli kontrol elemanlarına aktarılması, detaylı bir şekilde planlanmış bir eğitim planı ile mümkün olabilir. Eğitim alacak kişilerin öğrenme stillerinin de dikkate alınması, eğitimin katkısının belirlenebilmesi için de zihinsel zorlanma göstergelerini dikkate alan bir yaklaşım, eğitim sürecini kısaltmak ve maliyetleri azaltmak için katkıda bulunabilecektir.

Bu çalışmada, Görsel Muayenede arama ve karar verme sırasında kontrol elemanının gözüyle sürecin kayıt altına alınmasına olanak sağlayan teknolojiye nasıl yararlanılabileceğini temsil eden bir pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların ağırlıklı öğrenme stilleri mantıksal olarak belirlenmiştir ve buna uygun olacak bir eğitim içeriği hazırlanmıştır. Farklı tasarım ve kusur derecelerine sahip parçaların muayenesi sırasında, bu alanda literatürde ilk kez kullanılan göz takip cihazı yardımıyla elde edilen ortalama odaklanma süresi, toplam odaklanma sayısı ve kusurlu alana odaklanma sayısı verileri değerlendirilmiştir. Kusurlarının tespit edilmesi zor olan parçaya ait toplam odaklanma sayısının, eğitim önce ve sonrasında anlamlı olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, Goldberg and Kotval [46] tarafından ifade edilen, “ilgili alanda harcanan sürenin ve odaklanma sayısının yüksek olması katılımcının kusurları bulmakta zorlandığının bir göstergesidir” tanımı ile tutarlıdır. Zihinsel zorlanmanın

bir göstergesi olarak değerlendirilen NASA-TLX sonuçları da eğitim önce ve sonrası değerler arasında anlamlı bir farklılık olduğunu teyit etmektedir. Odaklanma sayısı ve kusurlara odaklanma sayısı verilerinden elde edilen muayene performansının eğitimden sonra daha yüksek olması katılımcıların zihinsel olarak daha az zorlandıklarını kanıtlar niteliktedir.

Göz takip cihazı gibi mobil teknolojilerin kullanımı ile örtük bilgi (tacit knowledge) kayıt altına alınabilir. Smith [48], usulünü bilme, uzmanlık, teknik beceri olarak da ifade edilebilen know-how yardımı ile bir kişinin formal eğitim sonrasına ek olarak, deneyimleriyle oluşan, nadir olarak yazılı kayıt altına alınan bilgi işleme sürecinin önemini vurgulamaktadır. Pek çok işletmede tecrübeli personelin işten ayrılmasıyla en iyi uygulama ya da kritik bilgilerin kaybedilmesi riski söz konusudur. Örtük bilginin neden önemli olduğu ve görsel kontrol sırasında nasıl elde edilebileceğine dair açıklamalar Johnson [49]’da özetlenmiştir. Görsel kontrol sırasındaki göz hareketlerine ilişkin göz takip cihazı gibi teknolojiler kullanılarak kayıt altına alınan tecrübesiz personelin performansına ilişkin veriler, tecrübeli personelin performansı referans alınarak hızlı bir şekilde karşılaştırılabilir. Alanında tecrübeli personelin görsel kontrol stratejisi haritalandırılarak bireysel becerileri, ilgili çalışanlara aktarılacak üzere şirketlerin veri tabanında saklanabilir. Görsel kontrol sırasında izlenmesi gereken adımlara uygunluk dikkate alınarak, performansı arttırmak üzere yapılması gereken düzenlemeler belirlenebilir. Sürücü eğitiminde tecrübeli personelin kayıt altına alınmış verilerinden hareketle benzetime dayalı eğitim ortamlarının tasarımıyla elde edilen başarılı uygulamalara dikkat çekilmektedir [50]. Fakat üretim ortamları için benzer uygulamalı çalışmalara erişilebilir literatürde rastlanmamıştır.

Eğitim aşamasında ya da deneyimi az olan kontrol elemanının kusur tespiti sırasında hatalı kararları bizzat tecrübe etmesi yerine, tecrübeli kontrol elemanının mevcut bilgi birikimini de kapsayan göz hareketlerinden (odaklanılan alan, odaklanma süresi, etkin kusur arama stratejisi, vb.) yararlanması mümkündür. Bir döküm atölyesinde Tobii mobil göz takip cihazı yardımıyla kayıt altına alınmış tecrübeli kontrol elemanı verilerinin eğitim

amacı ile kullanılmasının, işlem adımlarının daha kısa sürede öğrenilmesine katkıda bulunduğu ve eğitim süresinin ortalama yıllık 400 saat kısaltılmasını sağladığı belirtilmiştir [51]. Bu çalışmanın sınırlılıkları arasında, gözle kontrolün gerçekleştirildiği ortamın gerçek ortamdan uzak, laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi gösterilebilir. İzleyen çalışmalarda, [52] ve [53] gibi eğitim, uygulama ve sertifika konusunda akredite kurumlar ile iş birliği gerçekleştirilebilir. Teorik eğitim sırasında, tecrübeli kontrol elemanlarına ait göz takip cihazı ile kaydedilmiş video görüntülerinin kullanılması, etkin ve etkili arama stratejilerinin kolaylıkla anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Gerçekleştirilen uygulamada katılımcıların inceleyecek oldukları parçaları, bir sıra gözetmeksizin rasgele seçmelerine izin verilmiştir. İncelenen üç adet döküm parçaya kontrol sırası tanımlanabilir. Zorluk dereceleri farklı kusurlara sahip her bir parçanın muayenesinden sonra NASA-TLX uygulanması katılımcıların hangi parçada zihinsel zorlanmasının daha fazla olduğu hakkında bilgi sağlayabilir. İstatistiksel olarak daha hassas sonuçlar elde edebilmek için örneklem sayısı artırılabilir. Fakat gönüllü katılımcılara erişim pek çok uygulamalı deneyde problem olabilmektedir. Bu çalışmada temel Tahribatsız Muayene Eğitimi, katılımcıların tümüne verilmiştir. İzleyen çalışmalarda, katılımcıların öğrenme stillerine bağlı olarak, birebir eğitim ve farklı eğitim tiplerinin (sanal ortam, artırılmış gerçeklik vb.) etkisi değerlendirilebilir. Ayrıca gerçek kontrol ortamını temsil edebilmek üzere ses şiddeti, aydınlatma ve iklimik faktörler deney planına dâhil edilebilir.

Gerçekleştirilen pilot uygulama ve elde edilen sonuçlar, tecrübeli ya da az tecrübeleri kişilere ait verilerin, göz takip cihazı gibi yeni teknolojiler yardımıyla kayıt altına alınması ve kayıtların değerlendirilmesinin, eğitim içeriklerinin oluşturulması, teorik eğitimde verilip pratikte göz ardı edilen durumların tespiti ve eğitim uygulamalarının iyileştirilmesine katkı sağlayabileceğini desteklemektedir. Literatürde henüz bu alanda uygulamaları olmayan göz takip cihazı kullanımının akademik araştırmalar için de bir ilham kaynağı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Deneylerde kullanılan Göz Takip Sistemi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP#201415053 kapsamında alınmıştır. Deneylerde döküm parçaların kullanımına olanak sağlayan Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma Uygulama Merkez Müdürü Prof. Dr. C.Hakan Gür'e ve öğrencilere yönelik eğitimi gerçekleştiren İlker Yelbay ile Tuğçe Kaleli'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hellier, C., Handbook of Nondestructive Evaluation, Mcgraw-Hill, 2003.

2. Kumar, S., Mahto, D., Recent Trends in Industrial and Other Engineering Applications of Non-Destructive Testing: A Review, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4 (9), 183-195, 2013.
3. Dwivedia, S.K., Vishwakarmab, M., Sonic, A., Advances and Research on Non-Destructive Testing: A Review, Materials Today: Proceedings, 5, 3690-3698, 2018.
4. Gholizadeh, S., A review of non-destructive testing methods of composite materials, Procedia Structural Integrity 1, 50-57, 2016.
5. Wang, B., Zhong, S., Lee, T., Fancey, K.S., Mi, J., Non-destructive testing and evaluation of composite materials/ structures: A state-of-the-art review, Advances in Mechanical Engineering, 12 (4), 1-28, 2020.
6. Helal, J., Sofi, M., Mendis, P., Non-Destructive Testing of Concrete: A Review of Methods, Electronic Journal of Structural Engineering 14 (1), 9, 2015.
7. Sozen L., Yurdakul M., Ic Y.T., Determination of periodic inspection time in pressurized equipment exposed to fatigue by estimating the probability of fracture, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 36 (4), 1977-1992, 2021.
8. Rais, A.H.E., Basic human factors and nondestructive testing, The American Society for Nondestructive Testing, Inc., 14 (1), 1-4, 2015.
9. See, J.E., Colin G., Drury, C.G., Speed, A., Williams A., Khalandi N., The Role of Visual Inspection in the 21st Century, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 2017 Annual Meeting, 262-266, 2017.
10. Jiang, X., Gramopadhye, A.K., Melloy, B.J., Theoretical issues in the design of visual inspection systems, Theoretical Issues in Ergonomics Science, 5 (3), 232-247, 2004.
11. Drury, C., The human factor in industrial inspection, Quality Progress, 7 (12), 14-19, 1974.
12. Drury, C., Watson, J., Good practices in visual inspection, human factors in aviation maintenance-phase nine, Progress Report, FAA/Human Factors in Aviation Maintenance, 1-90, 2002.
13. See, J.E., Visual Inspection: A Review of the Literature, Sandia Report, Sandia National Laboratories, New Mexico, 2012.
14. Charles, R.L., Johnson, T.L., Fletcher, S.R., The use of job aids for visual inspection in manufacturing and maintenance, The Fourth International Conference on Through-Life Engineering Services Procedia CIRP, 38, 90-93, 2015.
15. Peters, F., Stone, R., Watts, K., Zhong, P., Clemons, A., Visual inspection of casting surfaces, AFS Transactions, 121, 45-52, 2013.
16. Johnson, T., Fletcher, S., Baker, W., Charles, R., How and why we need to capture tacit knowledge in manufacturing: case studies of visual inspection, Applied Ergonomics, 74, 1-9, 2019.

17. Baudet, N., Maire, J.L., Pillet, M., The visual inspection of product surfaces, *Food Quality and Preference*, 27, 153-160, 2013.
18. Stallard, M., Mackenzie, C., Peters, F., A probabilistic model to estimate visual inspection error for metal castings given different training and judgment types, environmental and human factors, and percent of defects, *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 97-106, 2018.
19. Rebsamen, M., Boucheix, J.M., Fayol, M., Quality control in the optical industry: from a work analysis of lens inspection to a training programme, an experimental case study, *Applied Ergonomics*, 41, 150-160, 2010.
20. Anderson, R., Stone, R., The use of virtual welding simulators to evaluate experienced welders, *Welding Journal*, 94, 389-395, 2015.
21. Zhao, X., He, Z., Zhang, S., Liang, D., A sparse representation based robust inspection system for hidden defects classification in casting components, *Neurocomputing*, 153, 1-10, 2015.
22. Tou, K., Retrait, F., Cogranne, R., Automatic vision system for wheel surface inspection and monitoring, Conference: ASNT Annual Conference 2017.
23. Bastian, B., Jaspreeth, N., Ranjith, S., Jiji, C., Visual inspection and characterization of external corrosion in pipelines using deep neural network, *NDT and E-International*, 107, 102-134, 2019.
24. Ulutas, B.H., Ozkan, N.F., Assessing visual control activities in ceramic tile surface defect detection: an eye-tracking study, *International Journal of Intelligent Engineering Information*, 5 (4), 342-351, 2017.
25. Khasawneh, M., Kaewkuekool, S., Bowling, S., Desai, R., Jiang, X., Duchowski, A., Gramopadhye, A., The Effects of Eye Movements on Visual Inspection Performance, Technical Report, Clemson University, 2003.
26. Ulutas, B.H., Ozkan, N.F., Michalski R., Application of hidden Markov models to eye tracking data analysis of visual quality inspection operations, *Central European Journal of Operations Research*, 28, 761-777, 2020.
27. Young, M.S., Brookhuis, K.A., Wickens, C.D., Hancock, P.A., State of science: mental workload in ergonomics, *Ergonomics*, 58 (1), 1-17, 2015.
28. Hart, S.G., Staveland, L.E., Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, In *Human Mental Workload*, edited by P. A. Hancock and N. Meshkati, 139-183, Amsterdam: Elsevier, 1988.
29. <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/> (son erişim 11/08/2021).
30. DiDomenico, A., Nussbaum, M.A., Interactive effects of physical and mental workload on subjective workload assessment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38 (11-12), 977-983, 2008.
31. Hart, S.G., Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50 (9), 904-908, 2006.
32. Miyake, S., Multivariate workload evaluation combining physiological and subjective measures, *International Journal of Psychophysiology*, 40 (3), 233-238, 2001.
33. Ryu, K., Myung, R., Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35 (11), 991-1009, 2005.
34. Kahya E., Ozkan N.F., Ulutas B.H., Evaluation of brain computer interface usage in terms of cognitive load: A pilot study, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 647-662, 2019.
35. Chen, C.C., Jones, K.T., Moreland, K., Differences in learning styles. *CPA Journal*, 84 (8), 46-51, 2014.
36. Smith, P., Ragan, T., *Instructional Design*, 3rd Edition, Wiley, 2005.
37. Coffield, F., *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review*. London: Learning and Skills Research Centre, (81), 90483-7, 2004.
38. Zajac, M., *Using Learning Styles to Personalize Online Learning*, *Campus-Wide Information Systems*, June, 2009.
39. Gulbahar, Y., Alper, A., Development of e-Learning Styles Scale for Electronic Environments. *Eğitim ve Bilim*, 39 (171), 421-435, 2014.
40. www.canr.msu.edu/files/Learning_Styles_Inventory, son erişim: 11/08/2021.
41. Duchowski, A., *Eye Tracking Methodology*, Springer, 2017.
42. Bojko, A., *Eye Tracking the User Experience: A Practical Guide to Research*, Rosenfeld Media, 2013.
43. Senduran, F., Göz takip sisteminin spor biliminde kullanılması: yeni araştırmacılar için kılavuz, *Spor metre*, 17 (4), 1-13, 2019.
44. <http://www.bilten.com.tr/urun/1/tobii-pro-glasses-2>, son erişim: 20/12/2021.
45. <https://ogrenmetasarimlari.com/coklu-zeka-kurami-nedir/>, son erişim: 11/08/2021.
46. Goldberg, J., Kotval, X., Computer interface evaluation using eye movements: method and constructs, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 631-645, 1999.
47. Just, M., Carpenter, P., Eye fixations and cognitive processes, *Cognitive Psychology*, 8, 441-480, 1976.
48. Smith, E.A., The role of tacit and explicit knowledge in the workplace. *Journal of Knowledge Management*, 5 (4), 311-321, 2001.
49. Johnson, T.L., Fletcher, S.R., Baker, W., Charles, R.L., How and why we need to capture tacit knowledge in manufacturing: Case studies of visual inspection, *Applied Ergonomics*, 74, 1-9, 2019.
50. Doozandeh P., Videorecording of experts as a method of training-simulator design, *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, DOI:10.1080/1463922X.2020.1864678, 2021.
51. <https://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/tobii-pro-insight-visual-performance-in-the-foundry.pdf>, son erişim 11/08/2021.
52. <http://wtndt.metu.edu.tr/psm/tm-sertifika>, son erişim 11/08/2021.
53. <http://mmo.org.tr>, son erişim 11/08/2021.

