

# Araç Tamponu Yüzey Kusurlarının Otomatik Tespiti için Görüntü İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Bir Sistem Geliştirilmesi

## Development of an Image Processing and Artificial Intelligence-Based System for Automatic Detection of Vehicle Bumper Surface Defects

Ataberk KAVAS<sup>1</sup>, Oğuz KÖLEOĞLU<sup>2</sup>, M.Fatih AYAR<sup>3</sup>, Batuhan ATASOY<sup>4</sup>, Senem KURŞUN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
[kavas17@itu.edu.tr](mailto:kavas17@itu.edu.tr)

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
[koleoglul7@itu.edu.tr](mailto:koleoglul7@itu.edu.tr)

<sup>3</sup>Makine Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
[ayarmul7@itu.edu.tr](mailto:ayarmul7@itu.edu.tr)

<sup>4</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
[atasoyba@itu.edu.tr](mailto:atasoyba@itu.edu.tr)

<sup>5</sup>Makine Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul  
[kursuns@itu.edu.tr](mailto:kursuns@itu.edu.tr)

### Özetçe

Kalite kontrol süreçlerinde, bir aracın kalite standartlarına uygunluğu, parçaların kusurlu olup olmadığının belirlenmesi ve kabul edilebilirlik kararının verilmesi hayati bir öneme sahiptir. Geleneksel yöntemlerde, operatörlerin farklı kusurları tanıyabilmek için yüzeydeki floresan lambalar kullanılarak yansıyan görüntüleri gözlemlenmesi gerekmektedir. Ancak bu yöntem, görece maliyetli, zaman alıcı ve yeniden üretilmesi zor sonuçlar doğuran bir süreçtir [2].

Bu çalışmanın amacı, araç tamponlarındaki yüzey kusurlarını otomatik olarak tespit edebilen bir sistem tasarlamaktır. Geleneksel yöntemlerde kullanılan manuel inceleme, pahalı ve zaman alıcı olmakla birlikte ölçülemeyen sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle, kalite kontrol sürecini iyileştirmek için görüntü işleme ve yapay zeka teknikleri kullanarak tamponlardaki kusurları tespit eden bir derin öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Tasarlanan ve üretilen sistemde, tampon yüzeyindeki hataları tespit etmek için yansıyan görüntülerin alınması amacıyla kameralar ve aydınlatma ekipmanları kullanılmaktadır. Elde edilen veriler endüstriyel bir bilgisayara aktarılırken, kamera sistemi kurulumu hareketli bir sistem üzerine monte edilerek hızlı bir şekilde görüntü alınması sağlanmaktadır.

### Abstract

Quality control processes are crucial in determining a vehicle's compliance with quality standards, identifying defective parts, and making acceptable decisions. Traditional methods require operators to observe reflected images using fluorescent lamps to recognize different defects. However, this method is relatively costly, time-consuming, and yields challenging-to-reproduce results [2].

The aim of this study is to design a system capable of automatically detecting surface defects in vehicle bumpers. Manual inspection in traditional approaches is expensive, time-consuming, and yields immeasurable results. Thus, a deep learning algorithm utilizing image processing and artificial intelligence techniques was developed to enhance the quality control process. The system, designed and produced, employs cameras and illumination equipment to capture reflected images for detecting errors on the bumper surface. The obtained data is transferred to an industrial computer, and a camera system on a movable platform enables quick image acquisition.

## 1. Giriş

Kalite kontrol kavramı geçmişten günümüze gelişen endüstri ile gittikçe önem kazanmıştır. Teknolojik gelişmelerle beraber kalite kontrol süreçleri yıllar boyunca geliştirilmiş ve günümüzde artık otonom sistemlere yavaş yavaş yerini bırakmaktadır. Bu otonom kontrol süreci insan kaynaklı hataların ortadan kaldırılması ve çevrim süresini azaltmak gibi verimliliği arttıracak birçok faktörü yerine getirmektedir [2].

Yüksek kaliteye ulaşma hedefi, tüm üretim yapan ülkelerin ortak amacıdır ve bu amaca ulaşmak için ülkeler farklı yöntemler izleyebilir. Amerika'da, kalite konusunda insan sorumluluğu geçmişte önemli olsa da, zamanla işçi ve ustaların yetkileri sınırlandırılmış ve kontrol süreçlerine organizasyon odaklı bir yaklaşım benimsenmiştir. Ayrıca, maliyetli üretim sistemlerine tepki olarak Frederick Taylor'ın "Bilimsel Yönetim İlkeleri" eseriyle ortaya konan sistem değişikliği gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların takibinde Henry Ford, Frederick Taylor'un ortaya koyduğu ilkeleri kendisinin geliştirdiği hareketli montaj hattında uygulayarak verimliliği bir üst noktaya çıkarmıştır [2].

Japon endüstrisi ise geçmişte kalite kontrol konusunda zayıf olarak bilinse de, geliştirdikleri yöntemlerle yüksek kalite ve uygun fiyatlarla dünya çapında önemli bir konuma gelmiştir. Bu başarı, tüm çalışanların katılımıyla gerçekleştirilen kalite kontrol süreçlerine dayanmaktadır ve Taiichi Ohno'nun Amerikan stratejilerini kendi kültürleriyle birleştirerek Toyota'da gerçekleştirdiği gelişmelerle pekiştirilmiştir. Sonuç olarak, günümüzde yalın üretim anlayışının temelleri atılmış ve üretimde israfı minimuma indirerek müşterilere yüksek kalitede, doğru miktarda ve uygun fiyatlı ürünler sunan "Toyota Production System (TPS)" olarak bilinen sürekli gelişen bir üretim yaklaşımı oluşturulmuştur. Bu sistemle hedeflenen amaç üretim hattında hataların önlenmesi, olası sorunların üretimin ilk aşamalarından itibaren çözülmesi için otonom bir sistem tasarlanması ve bu sayede birçok operatör kaynaklı hatayı ortadan kaldırıp, zamanın verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayarak üretimde verimi arttırmaktır [2].

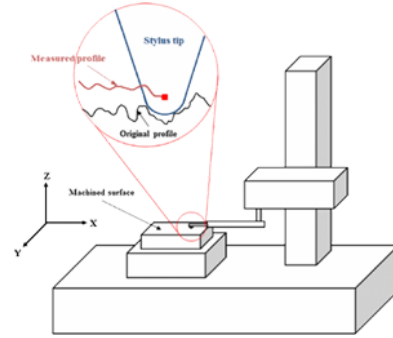
Bu projeye birlikte araç tamponundaki yüzey kusurlarının otomatik olarak tespit edileceği bir sistem tasarlanmıştır. Proje kapsamında araç tamponuna ait görüntüler aracılığıyla eğitim verisi oluşturulmuş, görüntü işleme ve evrişimli sinir ağları kullanılarak aracın tamponunda hata olup olmadığı değerlendirilmiştir. Dolayısıyla, tampon yüzeyindeki büyük ezikler, spreylere kaplamadaki kalıntılar, toz, tane, akma, taşlama ve cilalama izleri vb. kusurları tespit eden bir derin öğrenme algoritması geliştirilmiştir [4,6]. Sistemde, tampon yüzeyindeki hataları tespit etmek edebilmek için tampon yüzeyinin yansıyan görüntüleri kameralar ve aydınlatma ekipmanları kullanılarak alınmış ve elde edilen veriler değerlendirilmek üzere endüstriyel bir PC'ye aktarılmıştır. Ayrıca, kontrol edilecek tamponun etrafından hızlı görüntü alabilmek için kamera sistemi kurulmasının hareketli bir mekanizma üzerine monte edilmiştir. Önerilen hata tespit sistemi ile bir parçanın kabul edilebilir veya kusurlu olup olmadığına dair kalite kontrol kararı, üretim hattındaki operatör yerine otomatik olarak verilebilmiştir.

## 2. Problem Tanımı & Literatür Çalışmaları

### 2.1. Problem Tanımı

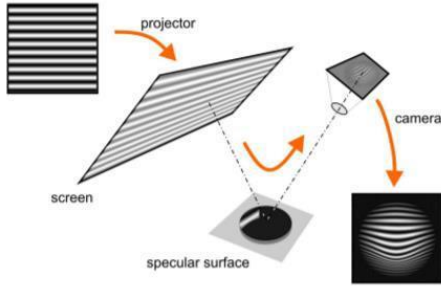
Kalite kontrol, imalat sanayisinde müşteri memnuniyetini artırmak ve üretim maliyetini düşürmek için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle otomotiv endüstrisinde, ön ve arka tampon kapakları, yan çamurluklar gibi dış gövde parçalarının montajıyla oluşturulan araçlar, belli bir renge boyanmış olduğundan ve çeşitli kusurların oluşabileceği parçalar olduğundan tam bir kontrol süreci gerekmektedir. Bu nedenle, daha hassas sonuçlar elde etmek ve zaman kazanmak amacıyla, yapay zeka tabanlı kusur tespit sistemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır [1].

Profilometre, yüzey pürüzlülüğünün ölçümü için kullanılan bir yöntemdir ve temaslı ve temassız olmak üzere iki türe ayrılır [1,5-8]. Boyalı otomotiv parçaları gibi yüksek cilalı yüzeylere zarar verebileceği için temaslı profilometre yöntemleri otomotiv endüstrisinde tercih edilmez. Bu nedenle, temassız profilometre yöntemlerine odaklanılmıştır ve ışık projeksiyonu, faz kaydırmalı interferometre, deflektometre gibi çeşitli temassız profilometre yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, kusurlu yüzeylerden ışığın homojen olmayan yansımalarından faydalanarak çalışır. Profilometre çalışma prensibi Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Temaslı Profilometre [1]

Deflektometre, temassız bir profilometre yöntemidir ve çalışma prensibi, yansıtıcı çizgili bir desen kullanılarak yansıtıcı yüzeylerin kaydedilmesi ve bu görüntüler üzerinden kusurlu yüzeylerin tespit edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu yöntem, otomotiv endüstrisinde yüzey kusurlarının tespitinde başarılı sonuçlar elde etmek için kullanılmaktadır. Çalışma prensibi Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2: Faz Kaydırmalı Deflektometre [2]

Bu analizler neticesinde yaygın olarak tespit edilen kusurlar şu şekildedir:

- Çapaklar [9]
- Darbe-Çizikler [9]
- Tümsekler [9]
- Toz ve(ya) Tane Şeklinde Kusurlar [9]
- Boyada Akma ve(ya) Damlamalar [9]
- Kraterler [9]

## 2.2. Literatür Özeti

Yapılan literatür çalışmalarında, profilometrik ölçümler esas alınmış ve bazı önemli noktalar tespit edilmiştir.

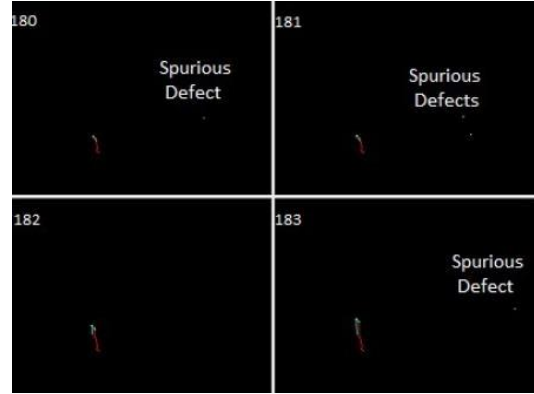
Moussa v.d. yaptığı çalışmada, araç tamponlarındaki kusurları tespit etmek için faz kaydırmalı deflektometre yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, yedi farklı faz kaydırmalı sinüzoidal desen LCD ekrana yansıtılmış ve test yüzeyinden yansıyan görüntüler kamera tarafından yakalanarak bir görüntü seti oluşturulmuştur. Faz haritası ve türev görüntüler çıkarılarak sahte kusurlar filtelenmiştir. Ardından kusur tespiti yapılarak veritabanına kaydedilmiştir. LCD ekranın tüm yüzeye desen yansıtabilecek kadar büyük olmaması nedeniyle yüzey segmentasyonu uygulanmış ve endüstriyel bir robot kol kullanılarak LCD ekran ve kamera taşınmıştır. Robotik kol, tüm parçayı incelemek için belirli bir yolda programlanmıştır, böylece daha büyük yüzeylerin etkin bir şekilde incelenmesi sağlanmıştır [3].



Şekil 3: Deflektometrik Test Düzenegi [3]

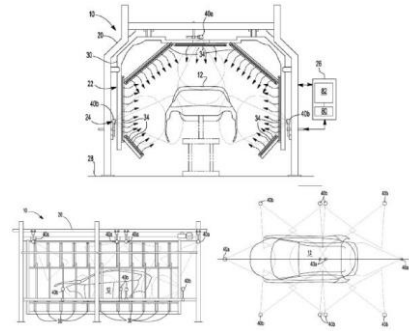
Bir başka çalışmada Moussa v.d., araç tamponlarındaki kusurları otomatik olarak tespit etmek için yalnızca faz dönüşümü tekniğini (PHOT) kullanan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu yöntemde, LCD ekranda beyaz bir desen

test yüzeyine yansıtılırken, kamera test yüzeyinden yansıyan görüntüyü yakalayarak düzenli desenleri ortadan kaldırıp kusurları görüntülemiştir. Ancak sahte kusur olasılığı nedeniyle gerçek kusur tespiti için düzenli görüntü akışının sağlanması hedeflenmiştir, çünkü ardışık görüntülerde gerçek kusurlar görünürken sahte kusurların görünmemesi mümkündür. Kusur tespit sistemi düzeneği için endüstriyel bir robot kullanılarak LCD ekran ve kameranın taşınması sağlanmıştır. Ayrıca, araç tamponları konveyör üzerinde hareket eden bir taşıyıcıya monte edilmiş ve kamera, tamponun hareket halindeyken sürekli görüntü alınması için konveyör hattını takip etmiştir [3].



Şekil 4: Önerilen Sahte Kusur Tespit Düzenegi [3]

FORD'un İspanya'daki fabrikasında gerçekleştirilen çalışma, araç gövdesindeki kusurların otomatik olarak tespit edilmesini amaçlamaktadır. Bu sistem, destek yapısı, aydınlatma alt sistemi ve görüntü alt sistemi içermektedir. Aydınlatma alt sistemi, bir dizi ışık içermekte ve destek yapısına göre doğrusal hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Görüntü alt sistemi ise sabit birinci ve ikinci kameralardan oluşmaktadır. Çalışma yöntemi, ışık kaynaklarının aynasal test yüzeyine göre hareket ettirilerek kamera tarafından test yüzeyinin görüntülerinin toplanmasını içermektedir. Kamera tarafından toplanan görüntüler birleştirilerek aydınlatma seviyelerindeki farkı telafi etmek için bulanıklaştırılmıştır. Bulanıklaştırılmış görüntü üzerinde yapılan analizler sonucu kusur tespiti gerçekleştirilmektedir. Bu otonom tespit sisteminin patenti FORD markasına aittir [10].



Şekil 5: WO2011/144964A1 Numaralı Patent [10]

### 3. Kullanılan Yöntemler & Tartışmalar

#### 3.1. Değer Önerisi

##### 3.3.1. Mekanik tasarım

Geliştirilen tasarımda 20x40 boyutlarında V Slot Sigma Profil kullanılmıştır. Doğrusal hareket kabiliyetinden kaynaklı tamponun eğri yüzeylerinden iyi derecede dik şekilde görüntü alamamasına rağmen, titreşimlere karşı daha dayanıklı bir tasarım olması, görüntü verisinin stabil bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır. Tasarımda V Slot 20x40 Sigma Profil'e uygun 5 mm iç çapa sahip, Delrin rulmanlı tekerlekler kullanılmıştır (5 x 23,89 x 10,23 mm – Rulman 625zz). Doğrusal hareket için kullanılan kayış-kasnak sistemi, NEMA17 doğru akım adım motorları aracılığıyla açık çevrim kontrol ile tahrik edilmiştir. Geliştirilen sistem Şekil 6'deki gibidir.



Şekil 6: Analiz Sistemi Katı Model Tasarımı (Sol) ve Prototip Ürün (Sağ) [2]

Üretilen prototipe ait adım motoru kontrolü ve doğrusal hız hesaplamaları aşağıdaki adımlarda tespit edilmiştir. Tespit edilen temel tasarım parametreleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Doğrusal Hareket Hesaplama Parametreleri

Parametre	Değer	Açıklama
$\alpha$	1,8°	Step açısı
f	454,54 Hz	Pals frekansı
Z	20	Kasnak diş sayısı
P	2 mm	Taksimat değeri
x	5 adım/mm	Step motorun br mm başına adım miktarı

Step motorun RPM cinsinden açısal hız hesabı:

$$n = \frac{\alpha \cdot f}{6} \quad (1)$$

Devirdaim (n) değeri 136,4 d/d bulunmuştur. Kullanılan kasnağın taksimat dairesi çapı hesabı:

$$d_p = \frac{Z \cdot p}{\pi} \quad (2)$$

Taksimat dairesi çapı (etken çap) 12,7 mm olarak bulunmuştur. Step motor mili kasnağına sıkı geçmiştir. Bu sayede kayışın çevre hızı Denklem 3 aracılığıyla tespit edilmektedir:

$$v = \frac{\pi \cdot d_p \cdot n}{60} \quad (3)$$

Step motorun mikrostep miktarının değeri 1 seçilerek, motorun mm başına adım miktarı 5 adım/mm olarak belirlenmiştir. Bu değer ile elde edilen kayış çevre hızı, prototipin düzgün bir kamera odaklanmasını sağlamaktadır ve doğrusal hareket sırasında titreşimin en az olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple, doğrusal hızı yaklaşık 90,1 mm/sn olan kayış için ideal açısal hız 136,4 d/d olarak tespit edilmiştir.

##### 3.3.2. Görüntü işleme çalışmaları

Veri toplama işlemi Toyota Türkiye (TMMT) Adapazarı Fabrikasında tampon hattında, kalite kontrol bölümünde gerçekleştirilmiştir. Kusurlu tamponlar ayrılarak 1500 lüks ışık şiddeti altında farklı mesafeler ve farklı açılardan fotoğrafları ve videoları çekilmiştir. Yüksek çözünürlüklü fotoğraflarda sistem daha iyi sonuçlar vermekte; ancak piksel sayısının artmasından kaynaklı olarak modelin kullanacağı parametre sayısı da artmakta, bu da eğitim işlemini zorlaştırmakta ve donanım gücü yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple 740 adet fotoğraftan oluşan veri havuzu oluşturulduktan sonra fotoğraflar 800x600 piksel boyutuna çevrilmiştir.



Şekil 7: Orijinal Görüntü (Sol) ve Düşük Boyutlu Görüntü (Sağ) [2]

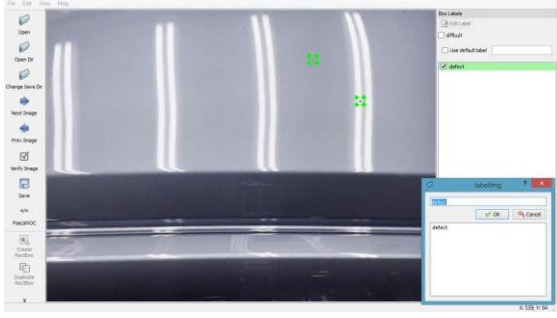
##### 3.3.3 Derin Öğrenme Modeli

Fotoğraflardan 600 tanesi eğitim, 70 tanesi doğrulama ve 70 tanesi de test için fotoğraf ayrılmıştır. Yani yaklaşık 80-10-10 % oranında bir train-test-validasyon ayrımı yapılmıştır. Projede nesne tespiti için Daha Hızlı Bölgesel Evrişimli Sinir Ağları (Faster R-CNN) modeli kullanılmıştır.

Faster R-CNN modeli oldukça hızlı çalışan ve başarılı sonuçlar ve bir evrişimli sinir ağı modelidir. Modelin eğitimi için Tensorflow yazılım çerçevesi kurulumu yapılmış ve sanal ortam oluşturularak Grafik İşlemci Birimi (GPU) üzerinde training gerçekleştirilmiştir.

Eğitim verisi için toplanan fotoğraflardaki kusurların koordinatlarının belirlenmesi ve derin öğrenme modelinin bu kusurları öğrenmesi için etiketleme işlemi gereklidir. Verilerin belirli sınıflara ayrılması ve kusurların konumlarının belirtilmesi amacıyla projede LabelImg programı kullanılmıştır. Program arayüzü Şekil 8'deki gibidir.

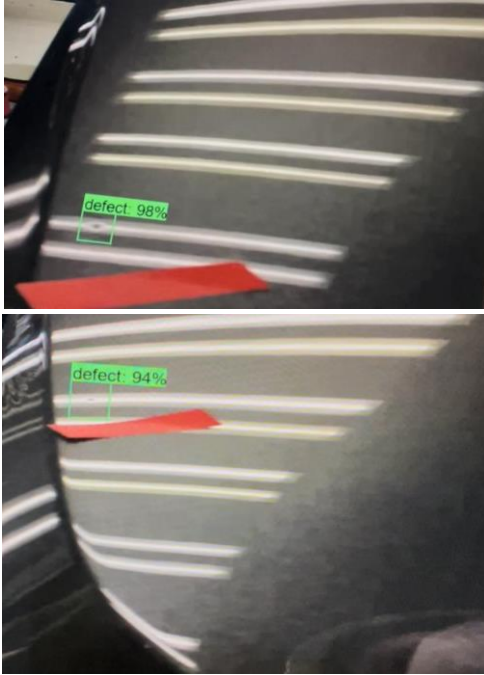




Şekil 8: Labelimg Programı Kullanılarak Verilerin Etiketlenmesi [2]

### 3.2. Fabrika Çalışmaları

Fabrika ortamında yapılan çalışmalarda, yaklaşık 91 mm/sn doğrusal hızda hareket eden prototipte Daha Hızlı Bölgesel Evrişimli Sinir Ağları (Faster R-CNN) temelli nesne tespit algoritmaları kullanılmıştır. Örnek bir kusur tespit çalışması Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9: Kusur Tespit Çalışmaları [2]

Fabrikanın tampon kalite kontrol hattından elde edilen görüntüler ile yapılan çalışmalarda %94 ve üzeri doğruluk oranı ile tampon yüzey kusurları tespit edilmiştir. Özellikle test için ayrılan 70 tane hatalı fotoğraftan 64 tane fotoğraftaki kusurlar %94 üzeri başarımla tespit edilirken 6 tane fotoğraftaki kusurlar ise algoritma ile tespit edilememiştir. Geliştirilen algoritmada, diğer kusurlar üzerine de çalışmalar devam etmektedir.

## 4. Sonuçlar

### 4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş araç tamponlarının kalite kontrolü manuel olarak gerçekleştirilmekte iken otonom bir kalite kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem sayesinde, üretim hatlarındaki kalite kontrol süreçlerinin daha hızlı ve verimli bir şekilde yapılması hedeflenmiştir.

Gözle yapılan muayenelerde kusur tespit çalışmaları en hızlı yaklaşık 35 sn'de yapılabilmektedir. Prototipin ilk uygulamalarında kalite kontrol süreci yaklaşık 27 sn'ye düşürülmüş, bu da sürenin %23 kısaltılmasını sağlamakla birlikte daha fazla iyileştirme potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu sürecin daha da geliştirilmesi için bütçe ile daha hızlı ve odaklanabilen kameralar kullanılması, hareketli robot kol mekanizması ile daha gelişmiş bir sistem elde edilmesi ve sabit kameralarla hareketli fişstürün birlikte kullanılması gibi farklı yaklaşımlar düşünülmüştür.

### 4.2. İleri Çalışmalar

Otonom kalite kontrol sisteminin geliştirilmesi için ileri çalışmalarda, farklı kamera sistemleri ve robot kol mekanizmalarının performansı karşılaştırılmalıdır. Ayrıca, sistemin daha kararlı ve güvenilir çalışması için ışık sistemi üzerinde de çalışmalar yapılmalıdır. Kameranın 1500 lux ışık şiddetinde olduğunu doğrulamak amacıyla ışık yoğunluk sensörleri, renk sensörleriyle birlikte kullanılarak nesne tespitinde daha doğru sonuçlar elde edilebilir.

Geliştirilen makine öğrenmesi modeli, veri setinin artırılması ve yeni kusur türlerinin eklenmesiyle eğitim verisinde iyileştirmeler yapılmalıdır. Sistemde kullanılan algoritmaların iyileştirilmesi ve işlem hızının artırılması için hiperparametre ayarlamaları denenebilir. Ayrıca, sistemdeki herhangi bir aksaklık durumunda hızlı ve etkili bir geribildirim mekanizması kurulmalıdır. Tüm bu çalışmalar, kalite kontrol süreçlerinin otonom ve verimli bir şekilde yürütülmesine katkı sağlayacaktır.

## Teşekkür

Geliştirilen projenin prototip uygulamalarının, TMMT Toyota Adapazarı Araba Fabrikası bünyesinde gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Müdür Yardımcısı sayın Oğuz Aydın'a yardımları için teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- [1] Profilometry (2008) Profilometry - an overview | ScienceDirect Topics. Available at: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/profilometry> (Accessed: 03 August 2023).
- [2] A. Kavas, O. Köleoğlu, and M. F. Ayar, Supervisor. S. Kursun Bahadır "Makine Öğrenmesi ile Araç Tamponu Yüzey Kusurları Tespit Sistemi Tasarımı." Graduation Thesis, İTÜ Mechanical Engineering, 2022
- [3] Moussa, M. (2021, October 16). *An efficient automotive paint defect detection system*. Advances in Science,

Technology and Engineering Systems Journal.  
Retrieved January 19, 2022, from  
[https://www.academia.edu/58519672/An\\_Efficient\\_Auto\\_motive\\_Paint\\_Defect\\_Detection\\_System](https://www.academia.edu/58519672/An_Efficient_Auto_motive_Paint_Defect_Detection_System)

- [4] Rosati, G., Boschetti, G., Biondi, A., & Rossi, A. (2008, May 22). *Real-time defect detection on highly reflective curved surfaces*. Optics and Lasers in Engineering. Retrieved January 19, 2022, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816608000493>
- [5] Faber, C., Olesch, E., Krobot, R., & Häusler, G. (2012, September 13). *Deflectometry challenges interferometry: The competition gets tougher!* SPIE Digital Library. Retrieved January 19, 2022, from <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-ofspie/8493/84930R/Deflectometry-challenges-interferometry-the-competition-getstougher/10.1117/12.957465.full?SSO=1>
- [6] *Mirror synthesis in a mechatronic system for superficial defect detection*. IEEE Xplore. (n.d.). Retrieved January 21, 2022, from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1232290>
- [7] Höfer, S., Burke, J., & Heizmann, M. (2016, December 1). *Infrared deflectometry for the inspection of diffusely specular surfaces*. De Gruyter. Retrieved January 21, 2022, from <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/aot-2016-0051/html>
- [8] *Defect detection*. DW Fritz Automation. (2021, September 6). Retrieved January 21, 2022, from <https://dwfritz.com/products-platforms/defect-detection-system/>
- [9] Google. (n.d.). *Eğitim.rar*. Google Drive. Retrieved January 21, 2022, from <https://drive.google.com/file/d/13HH1R985juSs2liuoYAN9E6Io6bVmWsa/view?usp=sharing>
- [10] Google. (n.d.). WO2011144964A1 - *inspection system and method of defect detection on specular surfaces*. Google Patents. Retrieved January 19, 2022, from <https://patents.google.com/patent/WO2011144964A1/en>