

PAPER DETAILS

TITLE: Traktör Lastiklerinin Taban İzlerinin Görüntü İşleme Teknikleriyle Otomatik Ölçümü:
Geleneksel Yöntemlere Yenilikçi Bir Alternatif

AUTHORS: Süleyman Kiliç, Onur Karaçay

PAGES: 1491-1498

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3819928>

Traktör Lastiklerinin Taban İzlerinin Görüntü İşleme Teknikleriyle Otomatik Ölçümü: Geleneksel Yöntemlere Yenilikçi Bir Alternatif

***Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 26.03.2024

Kabul/Accepted: 01.08.2024

Yayımlandı/Published: 02.12.2024

Automated Measurement of Tractor Tire Tread Patterns Using Image Processing Techniques: An Innovative Alternative to Traditional Methods

Süleyman KILIÇ^{1*} , Onur KARAÇAY² ¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye² Petlas Lastik Sanayi A.Ş., Kırşehir, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışma, traktör lastiklerinin taban izlerinin ölçümü için geleneksel yöntemlerin yerine geçebilecek görüntü işleme tekniklerine dayalı bir otomatikleştirme yöntemi önermektedir. Geleneksel ölçüm yöntemlerinin zaman alıcı ve insan hatasına açık olması, otomatik sistemlerin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda geliştirilen bir görüntü işleme sistemi ile lastik taban izlerinin daha hızlı ve doğru bir şekilde ölçülmesi sağlanmıştır. Sistem, radyal traktör lastikleri üzerinde yapılan deneylerle test edilmiş ve geleneksel ölçüm yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen sistemin lastik taban izlerinin ölçümünde yüksek doğruluk oranlarına ulaştığını ve geleneksel yöntemlere göre önemli ölçüde zaman tasarrufu sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, görüntü işleme tekniklerinin endüstriyel uygulamalarda katkı sağlayabileceğinin somut bir örneğini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme; Lastik taban izi ölçümü; Otomatik ölçüm; Kalite kontrol; Endüstriyel uygulamalar

Abstract

This study proposes an automated method based on image processing techniques that can replace traditional methods for measuring the tread patterns of tractor tires. The fact that traditional measurement methods are time-consuming and prone to human error has led to the need for developing automated systems. In this context, a faster and more accurate measurement of tire tread patterns has been achieved with an image processing system developed. The system has been tested with experiments on radial tractor tires and compared with the traditional measurement method. The results obtained show that the proposed system achieves high accuracy rates in measuring tire tread patterns and provides significant time savings compared to traditional methods. This study provides a concrete example of how image processing techniques can contribute to industrial applications.

Keywords: Image processing; Tire tread pattern measurement; Automatic measurement; Quality control; Industrial applications

1. Giriş

Lastik endüstrisi, araçların güvenliği ve performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğundan, sürekli gelişim ve yenilik gerektiren bir sektördür. Lastiklerin geliştirilmesi sürecinde, lastiklerin zemin üzerinde bıraktığı izin tespit edilebilmesi performans lastiklerinde (otomobil lastikleri) düşük yuvarlanma direnci, yol tutuşu, traktör lastiklerinde ise geniş taban izi beklentisi nedeniyle kritik bir süreçtir. Bu nedenle, süreç kritik bir kalite kontrol adımı olarak ön plana çıkmaktadır. Geleneksel olarak bu ölçüm, lastiklerin zeminle temas eden veya zeminle temas edebilecek bölgesinin kırmızıya boyanıp beyaz bir kâğıt üzerine basılmasıyla yapılmaktadır. Elde edilen izin alanı ise özel formüllerle hesaplanmaktadır. Ancak bu yöntem, zaman alıcı olması ve subjektif hatalara açık olması nedeniyle sınırlamalara

sahiptir. Araştırmalar daha doğru, verimli ve güvenli lastik taban izi ölçüm yöntemleri için teknolojinin kullanımına yönelik bir eğilimi göstermektedir. Literatür incelemesinde, lastik taban izinin sürüş güvenliği açısından kritik önemini, geleneksel ölçüm yöntemlerinin karşılaştığı zorlukları ve görüntü işleme/sensör tekniklerinin bu alandaki potansiyel avantajları görülmüştür (Wigan 1992, Pomoni 2022, Lee ve Taheri 2017). Görüntü işleme teknikleri, lastik ölçüm ve inceleme süreçlerinde verimlilik, doğruluk ve otomasyon sağlama potansiyeline sahiptir. Geleneksel yöntemler genellikle doğrudan temas gerektirir ve zaman alıcıdır, bu da ölçüm sürecini zorlaştırmakta ve insan hatası riskini artırmaktadır (Huang vd. 2016). Görüntü işleme tekniklerinin kullanımı, bu alanda önemli avantajlar sunarak, temas gerektirmeyen, hızlı ve doğru ölçümler yapılmasını sağlayacaktır.

Lastik taban izlerinin önemi üzerine yapılan araştırmalar incelendiğinde özellikle lastiklerin yol tutuşu/asfalt ilişkisi, lastik sıcaklığı, yakıt tüketimi ve aşınma direnci üzerine etkilerinin bulunduğu görülmektedir (Liu vd. 2024, Sun vd. 2024). Ayrıca, zirai lastiklerde taban izi üzerine yapılan araştırmalar, tarım makinelerinin toprak üzerindeki etkilerini azaltmak ve verimliliği artırmak amacıyla lastik tasarımının (taban izi desenlerinin) ve uygun parametrelerin belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır (Phakdee vd. 2024, Jie vd. 2023). Bu çalışmalar, tarım lastiklerinin taban izi tasarımının, toprak sıkışıklığını azaltma, çekiş gücünü artırma ve genel olarak tarım makinelerinin verimliliğini iyileştirme açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Literatürde görüntü işleme teknikleri kullanılarak, lastik taban izi inceleme, ölçüm ve otomasyon/sensör üzerine yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Pohl ve arkadaşları (Pohl vd. 1999), "akıllı lastik" terimini kullanarak, sürüş sırasında termal ve mekanik parametreleri izlemek için sensör sistemleriyle donatılmış lastikleri incelemişlerdir. Çalışma, lastik ve yol yüzeyi arasındaki temasın kilit bir parametre olduğunu ve modern araç kontrol sistemleri için izlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Taghavifar ve Mardani (2013), bir toprak test tesisinde radyal lastiğin temas alanı ve temas basıncının ölçümleri için görüntü işleme tekniğinin potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, lastik basıncı ve tekerlek yükü üzerine yapılan deneylerle, temas alanı ve basıncı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Temas basıncının yük ve şişirme basıncı ile doğrusal bir ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Pyo ve Lyoo (2013), lastik sırtının çekildiği ekstrüder hattı için iki kamera ile lazer çizgi aydınlatması kullanarak doğru şekilde taban genişliklerini ölçen bir görüntü tabanlı otomasyon algoritması geliştirmişlerdir. Geleneksel lastik sırtının çekildiği ekstrüder hattı üzerinde değişiklikler yapılarak sistem otomatik hale dönüştürülmüştür. Bu sayede, üretim verimliliği artırılarak iş kazaları azaltılmıştır. Huang ve arkadaşları (Huang vd. 2016), görüntü üçgenlemesi yöntemini uygulayarak temas olmayan bir ölçüm prototipi sistemi oluşturmuşlar ve taban dış derinliğini ölçmüşlerdir. Bu sistemin, ölçüm kolaylığını artırarak iş gücü maliyetlerini düşürdüğü belirtilmiştir. Wang ve arkadaşları (Wang vd. 2019), lastik dış derinliğini doğru ve otomatik olarak belirlemek için makine öğrenmesine dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Sundukları yöntemin, lastik desen oluklarını tanımlayabildiği ve her bir oluğun derinliğini 0,2 mm'den az bir mutlak hata ile ölçebildiği gösterilmiştir. Xiong ve Tuononen (2014), lastik dış yüzeyi deformasyonunu ölçmek için lazer tabanlı bir sensör sistemi önermişlerdir. Bu sistemin, lastik-yol etkileşimleri

hakkında detaylı bilgiler sunduğu vurgulanmıştır. Andrews ve arkadaşları (Andrews vd. 2019), lastik dış aşınmasının geleneksel ölçüm yöntemleri yerine elektriksel olarak ölçülebilen baskılı, elektrot dizisi tabanlı bir sensör önermişlerdir. Bu sensör, düşük maliyetli bileşenleri kullanarak lastik dış profillerini elektriksel olarak izleme konusunda yeni bir yöntem olduğunu söylemişlerdir. Wang ve arkadaşları (Wang vd. 2017), otomobil lastiği üretim sürecinde lastik dış genişliği ve kalınlığının hızlı bir şekilde çevrimiçi ölçümü için bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemin, üretim sürecinin verimliliğini artırdığı söylenmiştir. Aguilar ve arkadaşları (Castillo Aguilar vd. 2017), lastik özelliklerinin ve dış kusurlarının karakterizasyonu için bir optik test tezgahının optimizasyonunu yapmışlardır. Bu sistemin, lastik dinamiğindeki kritik faktörlerin belirlenmesine yardımcı olduğu vurgulanmıştır. Huber ve arkadaşları (Huber vd. 2022), "TireEye" isimli temassız ölçüm cihazı geliştirmişlerdir. Adaptif Canny kenar algılama görüntü işleme yöntemiyle oluşturulan cihazın, lastik aşınmasını 1 mm'den daha az bir doğrulukla ölçülebilen bir cihaz olduğu söylenmiştir. Bhamare ve Khachane (Bhamare ve Khachane 2019), lastik dış derinliğini görüntü işleme sensörleri kullanarak otomatik olarak ölçülmesi için bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistemin, işçilik maliyetini azaltan ve verimliliği artıran bir çözüm olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, lastik taban derinliğinin ölçümünde geleneksel yöntemlerin yerini alabilecek bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Chen ve arkadaşları (Chen vd. 1993), lastik dış kusurlarının tespiti için görüntü işleme ve desen tanıma tekniklerini kullanarak geliştirilmiş bir görüntü alma ve işleme algoritması geliştirmişlerdir. Çalışma, görüntü işleme tekniklerinin lastik üretim kalitesi ve tutarlılığı üzerindeki etkisini incelemektedir. Chen ve arkadaşları (Chen vd. 2011), görüntü işleme tabanlı ölçüm yöntemi kullanarak lastik basıncı, aşırı yük ve aşınma seviyesini tespit etmeyi önermişlerdir. Araştırmalarında, lastik aşınma seviyesini algılayamayan mevcut sistemlere kıyasla belirli avantajlar ve yenilikler sunmuşlardır.

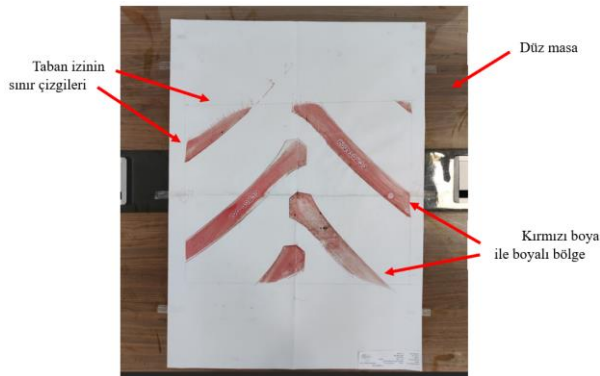
Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle görüntü işleme teknikleri çeşitli endüstriyel uygulamalarda etkinlik ve doğruluk sağlama potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, lastik taban izlerinin otomatik olarak ölçülmesi için geliştirilmiş yenilikçi bir görüntü işleme algoritmasını sunmaktadır. Algoritma, lastik izlerinin fotoğraflarını analiz ederek, kırmızı boyalı izleri ve arka planı etkin bir şekilde ayırtmaktadır. Bu yaklaşım, lastik üretim süreçlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlarken, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. Görüntü işleme tekniklerinin bu uygulaması, endüstriyel kalite kontrol mekanizmalarının nasıl iyileştirilebileceğine dair

bir örnek teşkil etmektedir. Araştırma, taban izi ölçümünde görüntü işlemeyi kullanarak süreci basitleştirmekte ve doğruluğu daha da artıracak yeni bir yöntem sunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Günümüzde, lastik endüstrisinde lastiklerin geliştirme süreçleri içerisinde taban izlerinin ölçümü, kalite kontrolünün vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Geleneksel metotlarda, lastik taban izleri kırmızı boya ile işaretlenip beyaz kâğıt üzerine basılarak, elde edilen izin alanı belirli formüller aracılığıyla hesaplanmaktadır (Şekil 1). Ancak bu yöntem, zaman alıcı olmasının yanı sıra subjektif hatalara da açık bir yapıdadır. Lastik taban izi ölçümleri, basınç, yük, jant gibi testin özelliklerine göre belirli test cihazları kullanılarak sınıflandırılmaktadır.

Deneyisel taban izi ölçüm süreci altı temel adımdan oluşmaktadır. İlk adımda, lastik janta monte edilerek basınç ayarlanır; bu işlem, lastiğin düzgün yuvarlanmasını ve taban izinin doğru şekilde oluşturulmasını sağlamaktadır. İkinci adımda, taban izlerinin net bir şekilde görülebilmesi için lastik tabanları kırmızıya boyanır, böylece ölçüm süreci kolaylaşmaktadır. Üçüncü adımda, lastik beyaz bir kâğıt üzerine yerleştirilir ve belirli bir süre test cihazında hareket ettirilerek kırmızı boya, beyaz kâğıt üzerine bir iz bırakır. Elde edilen kırmızı taban izli beyaz kâğıt, inceleme ve ölçüm için düz bir masa üzerinde sabitlenmiştir. Dördüncü adımda, oluşturulan taban izi detaylı bir şekilde incelenir; izin düzeni, genişliği, deseni ve diğer kritik detaylar gözden geçirilir. Beşinci adımda, özel bir cetvel veya ölçüm aracı ile taban izinin genişliği ve diğer özellikleri hassas bir biçimde ölçülmektedir. Son adımda ise, elde edilen ölçümler, her lastiğin taban izinin kıyaslanması yapılarak kalite kontrol kayıtlarına veya üretim veri tabanlarına işlenmektedir.



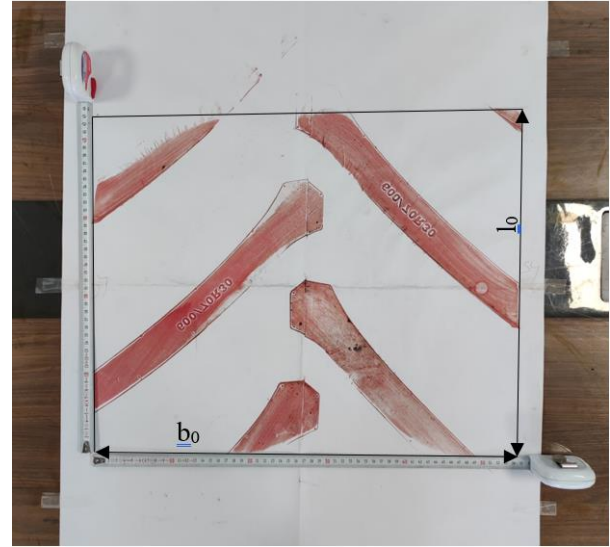
Şekil 1. Lastik taban izinin sabitlenmesi ve sınır çizgilerinin çizimi.

Taban izi alınan kâğıt üzerinde görülen kırmızı renk ile boyalı olan bölgelerin en uç kısımları (sınır çizgileri) referans alınarak kalemle çizilir. Çizilen bölgenin alanı en ve boy olarak dikdörtgen şeklinin alanını temsil

etmektedir. İki adet metre yardımıyla Şekil 2’de görüldüğü gibi taban izi sınır çizgilerinin ölçümü yapılır. Ölçümlerde b_0 (en), l_0 (boy) parametre değerleri kullanılarak Eşitlik 1 yardımıyla taban izi alanı değeri hesaplanmaktadır (Grecenko 1995).

$$A_0 = k \frac{l_0}{2} \frac{b_0}{2} \quad (1)$$

Eşitlikte A_0 : lastik taban izi alanı (cm^2), l_0 : taban izi boy (cm), b_0 : taban izi en (cm), k : taban izi alanı katsayısı dikdörtgen $k=4$) ifade etmektedir.



Şekil 2. Lastik taban izi ölçümü.

Bu yöntem, lastik tasarım sürecinde taban izlerinin boyutlarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, elde edilen sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği, ölçümün dikkatli ve hassas bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bu çalışmada, lastik taban izlerinin boyutlarını otomatik olarak ölçen bir görüntü işleme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma, lastik izi fotoğraflarını analiz ederek, kırmızı boyalı izlerin alanlarını otomatik olarak hesaplamaktadır. Hesaplama işlemi sonrasında, görüntülerde kullanılan ölçeklendirme faktörü aracılığıyla, elde edilen değerler gerçek dünya ölçülerine dönüştürülmektedir.

Algoritmanın kullanımı, kullanıcıya grafiksel bir arayüz üzerinden bir görüntü dosyası seçme olanağı sunan bir diyalog penceresi ile başlamaktadır. Kullanıcı bir dosya seçmediği takdirde, ölçüm işlemi başlamadan sonlandırılmakta ve program bir uyarı mesajı göstermektedir. Kullanıcının seçtiği fotoğraf, belirtilen dosya yolu ve adı ile algoritmaya yüklenmektedir. Daha sonra, kullanıcıya, görüntü üzerinde referans bir mesafe belirlemesi için iki nokta seçmesi talep edilmektedir. Bu iki nokta arasındaki piksel mesafesi hesaplanmakta ve elde edilen ölçeklendirme faktörü ile görüntüdeki mesafeler

gerçek dünya ölçülerine çevrilmektedir. Referans noktaları arasındaki piksel mesafesi, Eşitlik 2.'de verilen Öklid mesafe formülü ile hesaplanmaktadır. Öklid mesafe formülü, iki nokta arasındaki düz çizgi mesafesini bulmak için kullanılmakta ve genellikle iki boyutlu koordinat sisteminde uygulanmaktadır. Matematiksel olarak verilen bu formül, görüntü işleme ve bilgisayarla görme alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Jain vd. 1995).

$$\text{Piksel Mesafesi} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

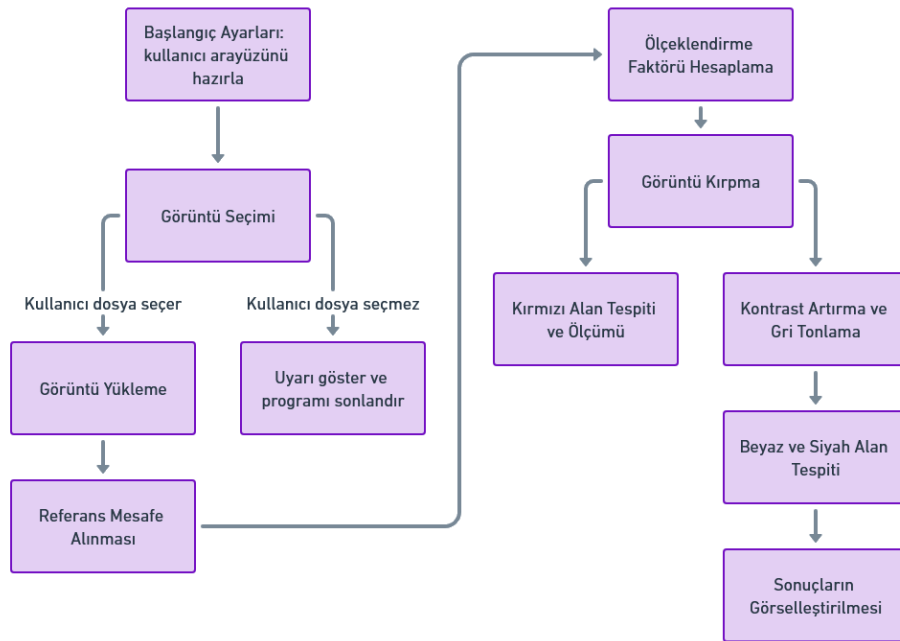
Burada, (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) referans noktalarının koordinatlarıdır. Ölçeklendirme faktörü (ÖF), gerçek dünya mesafesinin (GDM) piksel mesafesine (PM) bölünmesiyle elde edilmiştir (Eşitlik 3). Bu konudaki detaylı matematiksel bilgiler ilgili referanslarda (Russ 2006, Gonzalez 2009) bulunabilir.

$$\text{ÖF} = \frac{\text{GDM}}{\text{PM}} \quad (3)$$

Elde edilen piksel büyüklükleri, ölçeklendirme faktörü yardımıyla gerçek dünya ölçü birimlerine (cm^2) dönüştürülmektedir. Görüntüdeki herhangi bir bölgenin gerçek dünya ölçüleri, piksel alanının (PA) ölçeklendirme faktörü ile çarpılmasıyla elde edilebilmektedir (Russ 2006). Burada, Piksel Alanı (PA) belirli bir bölgedeki piksel sayısını temsil etmektedir. Görüntü işleme teknikleri ile belirlenen bu değer, ilgili bölgedeki her bir pikselin sayısını içermektedir.

Algoritma, kullanıcıya görüntüdeki gürültüyü azaltmak amacıyla bir alan kırma yapmasını önermektedir. Bu kırma işlemi sonrası, belirli bir renk eşiği kullanılarak kırmızı alanlar belirlenmekte ve bu alanların piksel cinsinden büyüklükleri hesaplanmaktadır. Kırmızı alanların tespiti için RGB (Red, Green, Blue) renk uzayında eşik değerleri kullanılmaktadır (Gonzalez 2009). Kırmızı pikselleri tanımlamak için $R > 150$, $G < 100$, $B < 100$ eşik değerleri deneme yanılma yoluyla seçilmiştir. Bu eşik değerleri, kırmızı rengin baskın olduğu pikselleri daha iyi tanımlamaktadır.

İşlemin son adımında, görüntünün kontrastı artırılarak bir renk dönüşümü ile gri tonlama sağlanmaktadır. Görüntü kontrastı, histogram eşitleme yöntemi kullanılarak artırılmıştır. Gri tonlama işlemi, renkli bir görüntüyü gri tonlamalı bir görüntüye dönüştürmek için kullanılan standart formüllere dayanmaktadır (Russ 2006). Bu aşamada, beyaz ve siyah alanlar ayrıştırılmakta ve her birinin alanı, cm^2 cinsinden hesaplanarak kullanıcıya görsel olarak sunulmaktadır. Gri tonlamalı görüntüde siyah (SA) ve beyaz alanların (BA) hesaplanması için bir eşik değeri kullanılmaktadır. Eşik değerinin altında kalan pikseller siyah, üzerindeki beyaz olarak kabul edilmektedir (Gonzalez 2009). Çalışmalar, Intel Core i7-10875H işlemci, 64 GB RAM ve NVIDIA GeForce RTX 2060 ekran kartına sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Geliştirilen algoritmanın akış diyagramı.

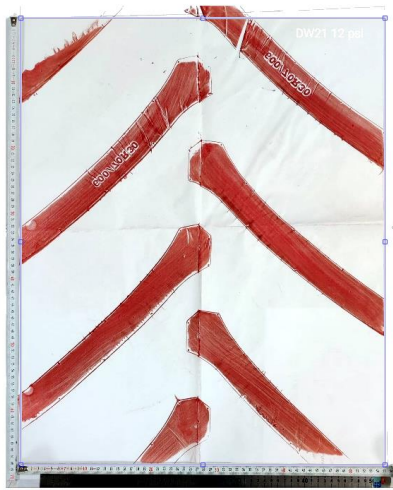
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritma, lastik taban izlerinin boyutlarını değerlendirmek amacıyla iki farklı

yöntem kullanarak alan ölçümü gerçekleştirmektedir. Her bir yöntem, özgün özellikleri ile kodlanmış olup, bu sayede hassas alan ölçümleri yapılabilmektedir. Program,

kullanıcılara her iki yöntemle elde edilen alan ölçüm fotoğraflarını sunmakta ve aynı zamanda, bu ölçümlerin ortalamasını göstererek, kullanıcıya kapsamlı bir analiz imkânı sunmaktadır. Eğer kullanıcı, fotoğraf üzerindeki alan ölçümünü yetersiz bulursa, tercihine bağlı olarak istediği ölçüm sonucunu seçebilmektedir.

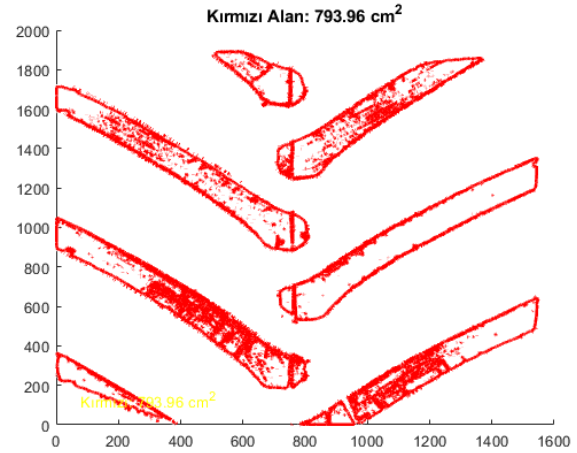
Programın kullanım süreci, ilk olarak kullanıcıdan fotoğraftaki gereksiz alanların kırılması talep etmekle başlamaktadır. Bu adım, resim üzerindeki gürültü oluşumunu minimize ederken, aynı zamanda gereksiz hesaplamaların önüne geçmektedir. Bu önlemle, algoritmanın verimliliği artırılmakta ve kullanıcının önüne net, anlamlı veriler çıkarılmaktadır.



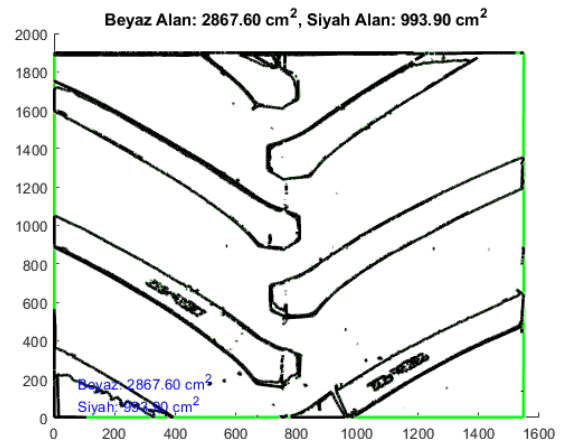
Şekil 4. a-) Kırpma bölgesi seçimi, b-) Kırpılmış resim.

Şekil 5, örnek bir ölçüm sonucunu göstermektedir. Kırmızı ile siyah-beyaz alanların ölçüm sonuçları arasındaki farklılıklar, uygulanan renk filtreleme ve maskeleme metodlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kırmızı alanları tespit etmek için belirlenen özel bir renk eşiği bulunmaktadır. Bu eşik değerlerinin ayarlanma biçimi, tespit edilen kırmızı alanın büyüklüğünü büyük ölçüde etkilemektedir. Dar bir aralıkta belirlenen eşik değerleri,

bazı kırmızı piksellerin göz ardı edilmesine yol açarken; geniş bir aralık, kırmızı olmayan piksellerin de kırmızı olarak algılanmasına neden olabilmektedir. Diğer yandan, siyah-beyaz alanların ölçümünde, görüntü ilk olarak gri tonlamaya çevrilmekte ve sonrasında beyaz alanlar saptanmaktadır. Bu süreçte kullanılan renk tonları ve eşik değerleri, ölçülen alanın boyutları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Griye çevirme işlemi sonrası yapılan beyaz piksel tespiti ise, görüntünün parlaklık seviyesine bağlı olarak, beyaz alanların yanlış hesaplanmasına sebep olabilmektedir.



a-)

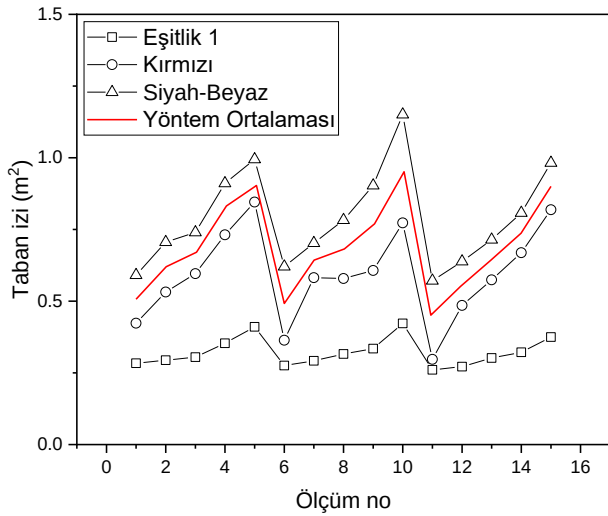


b-)

Şekil 5. a-) Kırmızı alan ölçümü, b-) siyah-beyaz alan ölçümü.

Eşik değeri, bir görüntüdeki piksellerin belirli bir renk aralığına göre sınıflandırılmasını sağlayan bir değerdir. Örneğin, kırmızı pikseller belirli bir kırmızılık derecesi üzerindeyse, bu pikseller kırmızı olarak kabul edilmektedir. Bu süreç, spesifik renk aralıklarını tespit etmek ve ilgili pikselleri ayırtmak için hayati öneme sahiptir. Ancak, eşik değerlerinin doğru ayarlanması, yüksek doğrulukta sonuçlar elde etmek için kritiktir (Poothari vd. 2023). Eşik değerleri çok geniş veya dar belirlendiğinde, ölçüm hataları artmakta ve bu da ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini azaltmaktadır. Bu sebeplerden ötürü, geliştirilen algoritma iki farklı ölçüm yöntemini

kullanıcıya sunmakta ve hataları en aza indirmek amacıyla, bu iki yöntemden elde edilen sonuçların ortalamasını almaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Farklı yöntemlerle hesaplanan taban izi ölçüm sonuçları.

Eşitlik 1 ile elde edilen alan ölçümlerinin oldukça hatalı olduğu görülmektedir. Çünkü, Eşitlik 1 incelendiğinde kırmızı ile işaretlenen alanın gerçek sınırlarını tam olarak yansıtmadığı ve böylece elde edilen ölçümün, gerçek taban izi alanından sapmalar gösterdiği görülecektir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan ölçümler ise, taban izinin tam sınırlarını dijital bir görüntü üzerinden hassas bir şekilde algılayabilmektedir. Bu yöntem, taban izinin gerçek sınırlarını doğru bir şekilde belirlemekte ve böylece daha doğru alan hesaplamaları yapılmasını sağlamaktadır. Görüntü işleme algoritması, kırmızı ile boyalı bölgelerin tam sınırlarını piksel olarak analiz etmekte ve böylece taban izinin gerçek alanını, herhangi bir geometrik varsayımdan bağımsız olarak, doğru bir şekilde hesaplamaktadır. Görüntü işleme tekniklerinin, düzensiz iki boyutlu hassas şekillerin dijital ortamda alanlarının ölçülmesinde uygun bir yöntem olduğu bilinmektedir (Hassabo 2012). Aynı şekilde yüzey alanı ölçmek için kullanılan bu yöntemin, clark formülü, leng formülü, düzleştirme taraması ve yarı silindir yan alan yöntemleri gibi yöntemlerden daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür (Li vd. 2023).

Bu çalışmada geliştirilen otomatik görüntü işleme algoritması, lastik taban izlerinin ölçümünde geleneksel yöntemlere göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Otomatik görüntü işleme yöntemiyle her bir lastik izi için ölçüm ortalama olarak 1 dakika sürmektedir (fotoğraf çekimi dahil). Geleneksel yöntemle yapılan ölçümler ise ortalama olarak 30 dakika sürmektedir. Otomatik yöntem ile yapılan ölçümlerin çok daha hızlı tamamlandığı gözlemlenmiştir. Otomatik görüntü işleme yönteminin bu denli hızlı olması, sürecin büyük ölçüde yazılım tabanlı

olmasından ve manuel müdahaleye ihtiyaç duyulmamasından kaynaklanmaktadır. Geleneksel yöntemler ise, manuel ölçüm ve değerlendirme süreçlerini içerdiği için daha uzun zaman almaktadır. Bu durum, otomatik yöntemin özellikle seri üretim ve hızlı kalite kontrol süreçlerinde büyük avantaj sağlayacağını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, zirai lastiklerin taban izlerinin alan ölçümleri üzerine odaklanmıştır. Geleneksel yöntemlerle yapılan ölçümlerin yanı sıra, geliştirilen görüntü işleme algoritmasının etkinliği ve doğruluğu değerlendirilmiştir. Çalışmamız, kırmızı ile işaretlenmiş taban izlerinin sınırlarının elle çizilerek ve basit geometrik şekillere dayalı matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanan alan ölçümlerinin, lastiğin gerçek yüzey sınırlarını tam olarak yakalamadığını göstermektedir. Matematiksel denklemlerle yapılan hesaplamalar, özellikle düzensiz şekiller ve değişken kenar uzunlukları göz önünde bulundurulduğunda, belirgin bir hata marjı içermektedir. Bu, taban izlerinin sadece en geniş ve en dar yerlerinden alınan ölçümlerle bir dikdörtgen veya yamuk şeklinde yaklaşık olarak modellendiği geleneksel yöntemlerin doğasında var olan bir kısıtlılıktır.

Görüntü işleme algoritması ile yapılan ölçümler, taban izinin tam sınırlarını piksel olarak takip ederek ve her bir renkli alanın tam piksel sayısını ölçerek daha hassas sonuçlar vermektedir. Bu yöntem, ölçeklendirme faktörü ile piksel sayısını gerçek dünya alan ölçülerine çevirerek çalışmaktadır. Ölçüm sırasında kullanıcının girdisi veya ölçümün subjektif yönlerinden etkilenmemektedir.

Görüntü işleme algoritması, daha doğru ve tekrarlanabilir ölçümler sağlamak ve lastik tasarım ve test süreçlerindeki subjektif hataları minimize etmektedir. Ek olarak, algoritmanın kullanımı, operatörün deneyimine bağlı olmadan standart ve tutarlı sonuçlar üretmektedir. Bu, lastik endüstrisindeki kalite kontrol süreçlerinde önemli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, otomatik yöntemle yapılan ölçümler daha hızlıdır; her bir lastik izi için ortalama ölçüm süresi 1 dakika olup, geleneksel yöntemle yapılan ölçümler ise ortalama 30 dakika sürmektedir. Bu süre farkı, otomatik yöntemin hız ve verimlilik açısından üstün olduğunu açıkça göstermektedir.

Geliştirilen algoritma ayrıca, lastik taban izlerinin ölçümünde yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır. Bu doğruluk, algoritmanın taban izinin sınırlarını tam olarak belirleyebilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır.

Böylece, lastik tasarımında ve kalite kontrol süreçlerinde daha güvenilir veriler elde edilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın lastik endüstrisindeki kalite kontrol prosedürleri için önemli etkilere sahip olacağı düşünülmektedir. Geliştirilen algoritma, lastik üretim süreçlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlarken, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. Bu nedenle, otomatik görüntü işleme tekniklerinin endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasının, lastik endüstrisinin verimliliğini ve kalite standartlarını önemli ölçüde artıracığı öngörülmektedir.

Gelecekteki çalışmalarımızda, geliştirilen algoritmayı farklı lastik türleri ve zemin koşulları üzerinde test ederek algoritmanın genelleştirilebilirliğini artırmayı hedefliyoruz. Ayrıca, algoritmanın gerçek zamanlı uygulamalarını geliştirmek ve entegrasyonunu sağlamak için daha ileri yazılım ve donanım optimizasyonları planlıyoruz.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Bu çalışma Doç. Dr. Süleyman KILIÇ danışmanlığında Onur KARAÇAY tarafından yapılan "Zirai lastiklerde IF (improved flexion), VF (very high flexion) teknolojisi" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Yazma,

Yazar 2: Kaynaklar, Deneyleme, Doğrulama, Yazma,

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

Andrews, J. B., Ballentine, P., Cardenas, J. A., Lim, C. J., Williams, N. X., Summers, J. B., Stangler, M. A., Koester, D. A., Cummer, S. A. and Franklin, A. D. 2019. Printed electronic sensor array for mapping tire tread thickness profiles. *IEEE Sensors Journal*, 19, 19, 8913-8919. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2918061>

Bhamare, M. H. and Khachane, A. 2019. Quality Inspection of tyre using Deep Learning based Computer Vision. *Learning*, 6, 11, 3555-3558.

Castillo Aguilar, J. J., Cabrera Carrillo, J. A., Guerra Fernández, A. J. and Postigo Pozo, S. 2017. Optimization of an optical test bench for tire properties measurement and tread defects characterization. *Sensors*, 17, 4, 707. <https://doi.org/10.3390/s17040707>

Chen, P., Shubinsky, G. D., Jan, K.-H., Chen, C.-A., Sidla, O. and Poelzleitner, W. (Year). Published. Inspection of tire tread defects using image processing and pattern recognition techniques. *Vision, Sensors, and Control for Automated Manufacturing Systems*, 1993. SPIE, 14-21.

Chen, R. B., Tao, J., Fan, W. T. and Zhang, J. J. 2011. Research on Methods of Tire Sensory Measurement Based on Image Processing. *Advanced Materials Research*, 230, 900-904. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.230-232.900>

Gonzalez, R. C. (2009). Digital image processing, Pearson education india.

Grecenko, A. 1995. Tyre footprint area on hard ground computed from catalogue values. *Journal of Terramechanics*, 32, 6, 325-333.

Hassabo, A. I. 2012. Semi-Automatic Area Measurement of Irregular Two Dimensional Shapes in Digital Images. *Applied Mechanics and Materials*, 170-173, 2953-2961. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.170-173.2953>

Huang, S.-Y., Chen, Y.-C. and Wang, J.-K. (Year). Published. Measurement of tire tread depth with image triangulation. 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), 2016. IEEE, 303-306.

Huber, S., Preindl, P. and Betz, J. (Year). Published. TireEye: Optical On-board Tire Wear Detection. Annual Conference of the PHM Society, 2022.

Jain, R., Kasturi, R. and Schunck, B. G. (1995). Machine vision, McGraw-hill New York.

Jie, W., SHANG, L., Liangyuan, X. and Qiansheng, T. 2023. Evaluation of traction characteristics of tractor tires on loose soils: simulation and experimental research. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 71, 3, 379-390.

Lee, H. and Taheri, S. 2017. Intelligent tires? A review of tire characterization literature. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9, 2, 114-135. <https://doi.org/10.1109/MITS.2017.2666584>

Li, F., Li, X., Huang, H., Xiang, H., Guan, C. and Guan, M. 2023. An Image Processing Method for Measuring the Surface Area of Rapeseed Pods. *Applied Sciences*, 13, 8, 5129. <https://doi.org/10.3390/app13085129>

Liu, J., Wang, M. and Yin, H. 2024. A Study of the Friction Characteristics of Rubber Thermo-Mechanical Coupling. *Polymers*, 16, 5, 596. <https://doi.org/10.3390/polym16050596>

Phakdee, S., Phromjan, J., Rugsaj, R. and Suvanjumrat, C. 2024. Experimental verification of mathematical

- models for tire-soil interactio. *GEOMATE Journal*, 26, **113**, 58-65.
<https://doi.org/10.21660/2024.113.g13180>
- Pohl, A., Steindl, R. and Reindl, L. 1999. The "intelligent tire" utilizing passive SAW sensors measurement of tire friction. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 48, **6**, 1041-1046.
<https://doi.org/10.1109/19.816111>
- Pomoni, M. 2022. Exploring Smart Tires as a Tool to Assist Safe Driving and Monitor Tire–Road Friction. *Vehicles*, 4, **3**, 744-765.
<https://doi.org/10.3390/vehicles4030042>
- Poothari, S., Ellam, D., Grübl, T. and Liu, Y. 2023. A Two-Stage Automatic Color Thresholding Technique. *Sensors*, 23, **6**, 3361.
<https://doi.org/10.3390/s23063361>
- Pyo, C.-S. and Lyoo, J. 2013. Automation of Tire Tread Extruder Line Using Cameras. *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 19, **3**, 262-267.
<https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.12.1791>
- Russ, J. C. (2006). The image processing handbook, CRC press.
- Smith, A. R. 1978. Color gamut transform pairs. *ACM Siggraph Computer Graphics*, 12, **3**, 12-19.
- Sun, Z., Premarathna, W. A. A. S., Anupam, K., Kasbergen, C. and M.J.G. Erkens, S. 2024. A state-of-the-art review on rolling resistance of asphalt pavements and its environmental impact. *Construction and Building Materials*, 411, 133589.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133589>
- Taghavifar, H. and Mardani, A. 2013. Potential of functional image processing technique for the measurements of contact area and contact pressure of a radial ply tire in a soil bin testing facility. *Measurement*, 46, **10**, 4038-4044.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.07.019>
- Wang, P., Chen, X., Yang, K. and Liu, X. (Year). Published. Research and application of online measurement system of tire tread profile in automobile tire production. Seventh international conference on electronics and information engineering, 2017. SPIE, 326-332.
- Wang, X.-B., Li, A.-J., Ci, Q.-P., Shi, M., Jing, T.-L. and Zhao, W.-Z. 2019. The study on tire tread depth measurement method based on machine vision. *Advances in Mechanical Engineering*, 11, **4**, 1687814019837828.
<https://doi.org/10.1177/1687814019837828>
- Wigan, M. 1992. Image-processing techniques applied to road problems. *Journal of transportation engineering*, 118, **1**, 62-83.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1992\)118:1\(62\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1992)118:1(62))
- Xiong, Y. and Tuononen, A. 2014. A laser-based sensor system for tire tread deformation measurement. *Measurement Science and Technology*, 25, **11**, 115103.
<https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/11/115103>