



Görüntü işleme yöntemi ile geri esnemenin otomatik ölçümü: Deneysel bir yaklaşım

Automatic measurement of springback using image processing method: An experimental approach

Süleyman Kılıç^{1,*} , Mehmet Fatih Demirdöğen² 

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 40100, Kırşehir, Türkiye

² Petlas Lastik Sanayi A.Ş., 40200, Kırşehir, Türkiye

Öz

Bu araştırma, bükülmüş numunelerin fotoğrafları üzerinden görüntü işleme tekniği kullanılarak geri esneme açısının otomatik olarak ölçülmesine odaklanmaktadır. Geleneksel evrensel açı ölçerlerin kullanımındaki kullanıcı hatalarından kaynaklanan değişkenlik sorunlarına alternatif olabilecek bir program geliştirilmiştir. Çalışmada, farklı açılarda bükme işlemine tabi tutulan numuneler üzerinde evrensel açı ölçer ile geri esneme ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, geliştirilen program ile numunelerin fotoğrafları aracılığıyla geri esneme değerleri otomatik olarak elde edilmiştir. Bu süreçte, fotoğraf filtreleme yöntemleri ve kenar tespit yöntemleri gibi görüntü işleme tekniklerinin etkisi incelenmiştir. Geliştirilen program, orijinal fotoğrafların yanı sıra filtrelenmiş fotoğraflar üzerinde geri esneme açılarını başarıyla tespit etmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüksek doğrulukta ölçümler elde edildiğini göstermektedir. Ölçüm yapılırken en düşük hata oranını Gaussian filtreleme yöntemi sağlarken, Sobel ve Prewitt algoritmaları ise uygulanan testler çerçevesinde en uygun algoritmalar olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Görüntü işleme, Geri esneme, Filtreleme etkisi, Kenar tespit algoritmaları

1 Giriş

Geri esneme, bir malzemenin şekillendirildikten sonra kuvvetin ortadan kalkmasıyla orijinal şekline geri dönme eğilimidir. İmalat süreçlerinde sıkça karşılaşılan bir problem olmakla birlikte birçok endüstriyel uygulama için önemli bir durumdur. Bu olayın temelinde malzemenin elastik davranışı bulunmaktadır [1]. Malzeme iç yapısında oluşan iç gerilmeler, parçanın orijinal şekline dönme eğilimi oluşturmaktadır. Özellikle metal şekillendirme işlemleri gibi büyük deformasyon gerektiren süreçlerde etkin bir rol oynamaktadır [2, 3]. Özellikle montaj parçaları için kritik öneme sahip bir parametredir [4]. Montaj parçalarının birbirleriyle uyumlu olması ve belirlenen boyutsal toleranslara uygun olması çok önemlidir. Geri esnemiş bir parça montaj hatalarına sebep olmaktadır. Geri esnemenin etkilerini azaltmak veya önlemek için çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir [3, 5]. Isıl işlem uygulamaları, malzeme

Abstract

This research focuses on the automatic measurement of springback angle using image processing techniques on photographs of bent samples. A program has been developed as an alternative to traditional universal angle gauges, which can exhibit variability due to user error. In this study, springback measurements were made using a universal angle gauge on samples subjected to bending at different angles. In addition, automatic springback values were obtained from photographs of the samples using the developed program. The effects of image processing techniques such as photo filtering and edge detection methods were investigated and different methods were experimented with. The developed program successfully detected springback angles on both original and filtered photographs. The results obtained indicate a high degree of accuracy in the measurements. When measuring, the Gaussian filtering method provides the lowest error rate, while the Sobel and Prewitt algorithms have been determined as the most suitable algorithms based on the tests conducted.

Keywords: Image processing, Springback, Filtering effect, Edge detection algorithms

seçimi, proses parametrelerinin kontrolü ve uygun takım tasarımı gibi faktörler de geri esneme etkilerini yönetmede önemlidir.

Açı ölçümleri, endüstriyel anlamda temassız optik sistemler ve koordinat ölçme makineleri (CMM) ile yapılmaktadır [6-8]. Bunun yanı sıra, küçük ölçekli işletmelerde hala dijital ve evrensel açı ölçerler gibi daha geleneksel ölçüm araçları da kullanılmaya devam etmektedir. Şekil 1'de küçük ölçekli işletmelerde geri esneme ölçümünde kullanılan dijital açı ölçer ve evrensel açı ölçer gösterilmiştir.

Görüntü işleme teknolojisi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıbbi görüntüleme cihazları, savunma sanayi, insansız hava araçları ile nesne tespiti, araç plaka tanıma sistemleri, şehirler arası ortalama hız tespiti, parmak izi kontrol sistemleri, yüz tanıma, nesne takibi, mimari

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: suleymankilic@gmail.com (S. Kılıç)

Geliş / Received: 23.02.2024 Kabul / Accepted: 04.04.2024 Yayınlanma / Published: 15.07.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1442077

uygulamalar, gıda, zirai ilaçlama uygulamalarında kullanılmaktadır [9-19].

Aytan ve arkadaşları [20], sayısal görüntüler üzerinde doğrusal ve açısal ölçümler yapmışlardır. Görüntü işleme tekniklerini, hata oranı düşük bir yöntem olarak tanımlamışlardır. Aydemir ve arkadaşları [21], şekillendirme sırasında bükülme açısının değişimini tespit etmek için bir görüntü işleme sistemi oluşturmuşlardır. Billur ve arkadaşları [22], yüksek dayanımlı çeliklerde bükme işlemi sonrası geri esneme miktarının ölçülmesinde görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Matlab programı ile hazırladıkları bir yazılım ile presin alt ölü noktadaki ve presin tamamen kalktıktan sonraki konumları için görüntü işleme tekniği ile açı ölçümü yapmışlardır. Görüntü işleme yöntemlerinin manuel yöntemlere göre oldukça yakın sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Görüntülerde daha belirgin eşikleme yapılması için plakalar fosforlu renklerle (beyaz ya da yeşil) boyanarak arka plandan ayrılması sağlamışlardır. Kılıç ve arkadaşları [23], V kalıpta bükme işleminden sonra oluşan geri esneme için görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Koçar ve arkadaşları [24], görüntü işleme teknikleri ile sac malzeme üzerindeki kusurların belirlenmesi üzerine çalışmışlar ve sonuçların uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Bu işlemin temelinde elde edilen görüntülerin bilgisayar yardımıyla piksellerin satır ve sütun olarak bir matris oluşturması ve herhangi bir nokta koordinatının da bu bilgilerden yararlanılarak tespit edilmesine dayanmaktadır. Bu durumda çözünürlük önemli bir parametredir [25]. Görüntü işlemede ilk olarak görüntüdeki gürültülerin yok edilmesi veya azaltılması gerekmektedir. Bu işleme görüntü yumuşatma işlemi denilmektedir. Görüntü yumuşatma işleminde ortalama, medyan, gaussian gibi bazı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Medyan filtresi, doğrusal olmayan bir filtredir. Medyan filtresi, bir pikselin komşuluğundaki piksellerin gri ton değerlerinin küçükten büyüğe sıralanmasıyla oluşan listenin ortasındaki elemanı, yani medyanı çıktı değeri olarak almaktadır [25]. Giriş ve çıkış görüntülerin gerçekliği filtreleme ile sağlanmaktadır [9].

Görüntüde kenar belirleme algoritmaları, görüntü işlemede en yaygın kullanılan konulardan biridir. Kenar belirleme, bir görüntüdeki nesnelerin arka plandan farklı gri ton değerleri ile belirlendiği ve gri seviyelerindeki ani değişiklikleri tespit eden temel bir görüntü işleme yöntemidir. Bu süreksizlikleri ortaya çıkarmak için genellikle görüntü üzerine bir maske uygulanır, bu maskeler kenarları belirginleştirmek için yüksek geçiren filtre etkisi gösterir. Kenar belirleme yöntemleri, temelde bölgesel türevlere dayanmaktadır [25-27]. Bu yöntemlerden en sık kullanılanları ise Prewit, Sobel, Canny, LOG gibi yöntemlerdir.

Bu çalışmada, farklı filtreleme yöntemleri ve çeşitli kenar tespit algoritmaları kullanılarak geri esneme ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekillendirme işleminden sonra evrensel açı ölçer cihazlar kullanılarak elde edilen geri esneme sonuçları, geliştirilen yazılım tarafından ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada elde edilen sonuçlar oldukça başarılı bulunmuştur. Gelecekte yazılımın

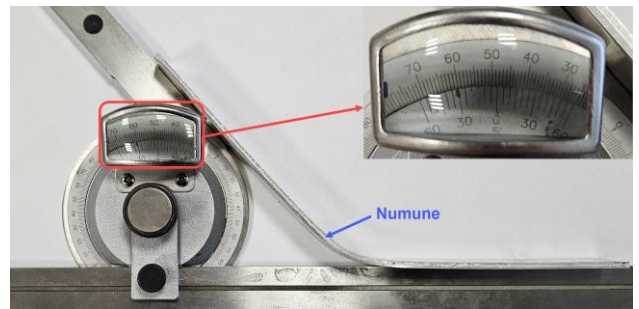
ek fonksiyonlarla daha da geliştirilmesi için çalışmalar yapılacaktır.



Şekil 1. (a) Dijital açı ölçer, (b) Evrensel açı ölçer

2 Materyal ve metot

Bu çalışmada, farklı açılarda bükme işlemine tabi tutulmuş 15 adet numunenin geri esneme davranışları incelenmiştir. İlk olarak, evrensel açı ölçer kullanılarak her bir numunenin geri esneme ölçümleri alınmıştır (Şekil 2). Ardından analiz için özel olarak hazırlanan bir düzencekle her bir numunenin fotoğrafı çekilmiştir (Şekil 3). Fotoğraflar, sabit ışık koşulları altında ve aynı yükseklikten alınarak, filtreleme ve kenar tespit algoritmalarının etkisini değerlendirebilmek amacıyla beyaz ve sarı renk zemin üzerinde çekilmiştir. Ayrıca, metalik parçaların yansıtıcı yüzeylerinin ölçümdeki etkisini incelemek için, ölçüm yüzeyleri hem doğal haliyle hem de mavi renkle boyanmış durumlarında fotoğraflanmıştır. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılan ölçümlerde, malzemenin türü ve kalınlığı gibi fiziksel özelliklerin doğrudan bir önemi bulunmamaktadır. Bu yaklaşım, geri esneme ölçümlerinin daha geniş bir malzeme yelpazesi üzerinde etkin bir şekilde uygulanabilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2. Evrensel açıölçer (5 dakika çözünürlük) ile geri esneme ölçümü

Geliştirilen görüntü işlem algoritmasında farklı fotoğraf filtreleme fonksiyonları ve kenar tespit algoritmaları için 296 satırlık bir kod yazılmıştır. Kod ilk olarak, kullanıcının bir fotoğraf seçmesini istemekte ve ardından program seçilen fotoğrafı okumaktadır. Ardından, gri tonlamaya dönüştürme, adaptif histogram eşitleme ve medyan filtreleme gibi görüntü işleme teknikleri uygulanmaktadır. Daha sonra, Sobel, Prewitt, Roberts ve Canny gibi farklı kenar tespiti yöntemleri kullanılarak kenarlar tespit edilmektedir. Her bir yöntem

için, Hough dönüşümü kullanılarak çizgiler tespit edilmekte ve iki çizgi arasındaki ortak nokta belirlenip, çizgilerin uzunluğu normalize edilmektedir. Hough dönüşümü tekniği, nesne tespit yöntemleri arasında en önemli olanlardan biridir. Sayısal görüntü işleme alanında, Hough dönüşümü, matematiksel olarak ifade edilebilen şekillerin varlığını, konumunu ve açılarını bulmak için kullanılır. Bu yöntem, 1962 yılında Paul Hough tarafından geliştirilmiştir [20]. Bu işlemler, orijinal fotoğraf, adaptif histogram eşitleme sonrası fotoğraf, medyan filtreleme sonrası fotoğraf ve Gaussian filtreleme sonrası fotoğraf için ayrı ayrı gerçekleştirilmektedir. Her bir durum için, kenar tespiti sonuçları ve çizgiler arasındaki açılar fotoğraf üzerinde görsel olarak gösterilmektedir. Kod, ayrı pencerelerde bütün filtreleme yöntemleri için kenar tespit yöntemlerini kullanarak hesap yapmakta ve dolayısıyla kullanıcı bu sonuçları karşılaştırabilmektedir. Burada kullanılan yöntemlerden bazıları renkli bazıları gri görüntü üzerinde etkili sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bu karşılaştırma bir nevi doğrulama işlemi olmaktadır.



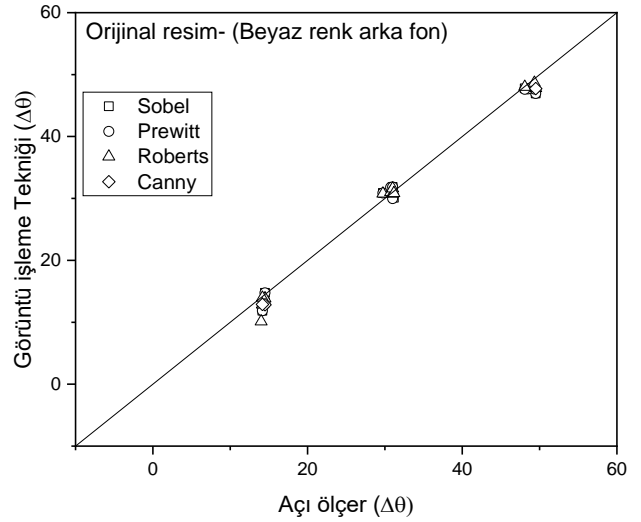
Şekil 3. Kamera düzeneği ile numunelerin fotoğrafının çekilmesi

3 Bulgular ve tartışma

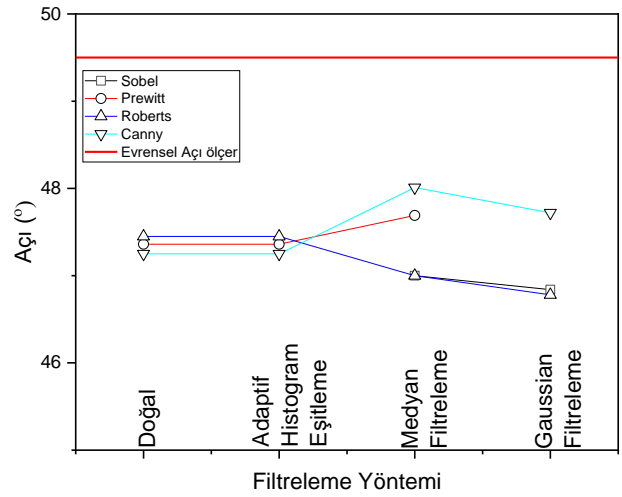
Beyaz arka fon renginin olduğu orijinal resim üzerinde, herhangi bir filtreleme yapılmadan gerçekleştirilen görüntü işleme sürecinde, kenar tespit algoritmaları toplamda 60 ölçüm içerisinde 23 tanesinde hatalı sonuçlar elde etmiştir (Şekil 4). Özellikle Canny algoritması, neredeyse tüm ölçümlerinde hatalı kenar tespitleri gerçekleştirmiştir.

Renklerin ölçüm değerlerine olan etkisini incelemek için kenar kısmı mavi renge boyanmış ve zemin rengi sarı renk olarak seçilmiştir. Bu şekilde çeşitli filtreleme ve kenar tespit yöntemleriyle elde edilen ölçüm değerlerinin detaylı bir incelenmesi yapılmıştır. Şekil 5'te farklı filtreleme ve kenar tespit algoritmalarının ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Doğal

bir görüntü üzerinde uygulanan Sobel ve Prewitt algoritmaları hatalı sonuçlar vermiş olup, grafikte bu hatalar gösterilmemiştir. Adaptif histogram eşitleme yöntemi kullanıldığında ise Canny algoritması hatalı sonuçlar ortaya koymuştur. Evrensel açı ölçer ile görüntü işleme yöntemleri arasında yaklaşık %3'lük bir fark gözlemlenmektedir. Ayrıca, evrensel açı ölçer ile iki farklı kişinin gerçekleştirdiği ölçüm sonuçları arasında yaklaşık %2'lik bir hata payı bulunabildiği unutulmamalıdır.

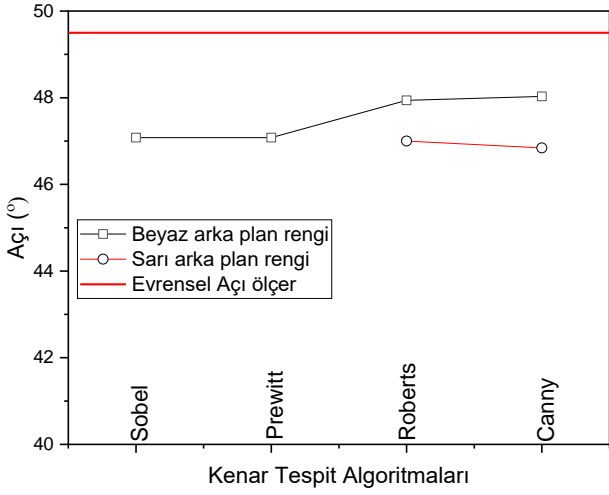


Şekil 4. Orijinal resim üzerinden görüntü işleme ve evrensel açı ölçer ölçüm kıyaslaması



Şekil 5. Filtrelemenin etkisi

Şekil 6'da arka plan renginin görüntü işlemeye olan etkisi görülmektedir. Ölçüm kenarları mavi renge boyanarak gerçekleştirilen ölçümlerde, arka plan renginin beyaz olduğu durumda kenar tespit algoritmalarının başarılı ölçümler gerçekleştirdiğini göstermektedir. Ancak, arka plan renginin sarı olduğu durumda, Sobel ve Prewitt algoritmaları hatalı ölçümler yapmışlardır. Hatalı ölçümler grafikte gösterilmemiştir.

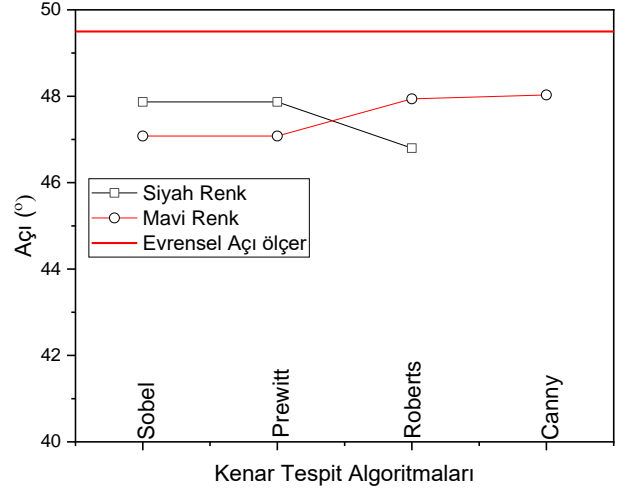


Şekil 6. Arka plan renginin etkisi

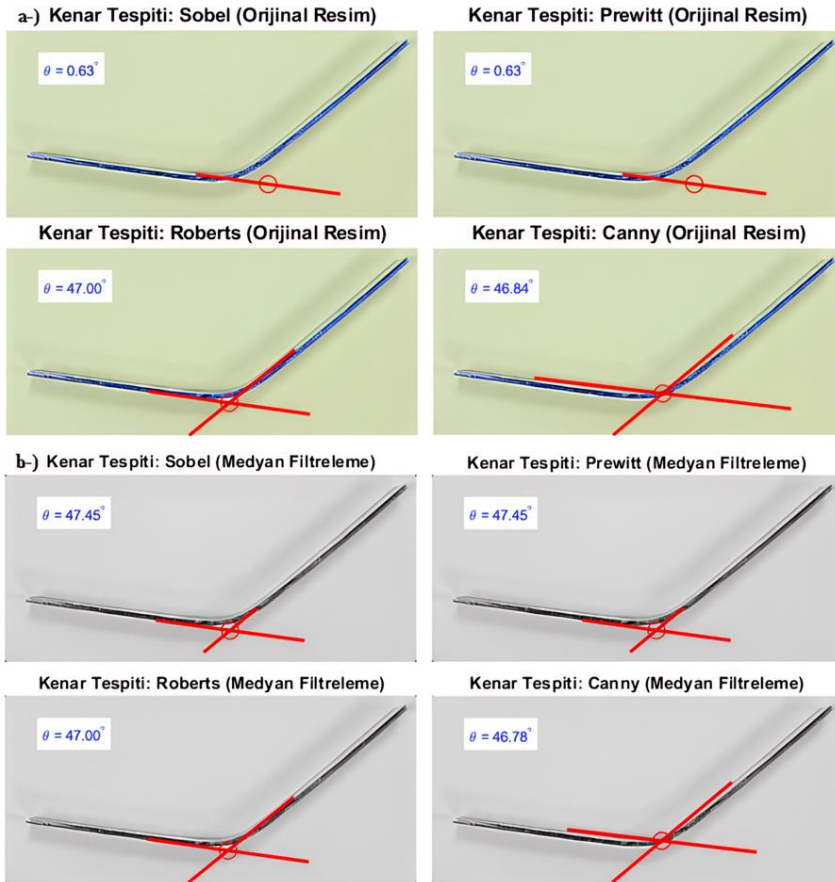
Şekil 7'de, beyaz arka fon renginde ölçülen kenarların siyah ve mavi renklere boyanmasıyla elde edilen açı değerleri sunulmuştur. Siyah renkte, Canny algoritması doğru ölçümler gerçekleştirememişken, mavi renkte ise bütün kenar tespit algoritmalarının başarılı ölçümler gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

Bu parametrelerin etkilerinden kaynaklanan hataları önlemek amacıyla, geliştirilen bu koda orijinal ve üç farklı

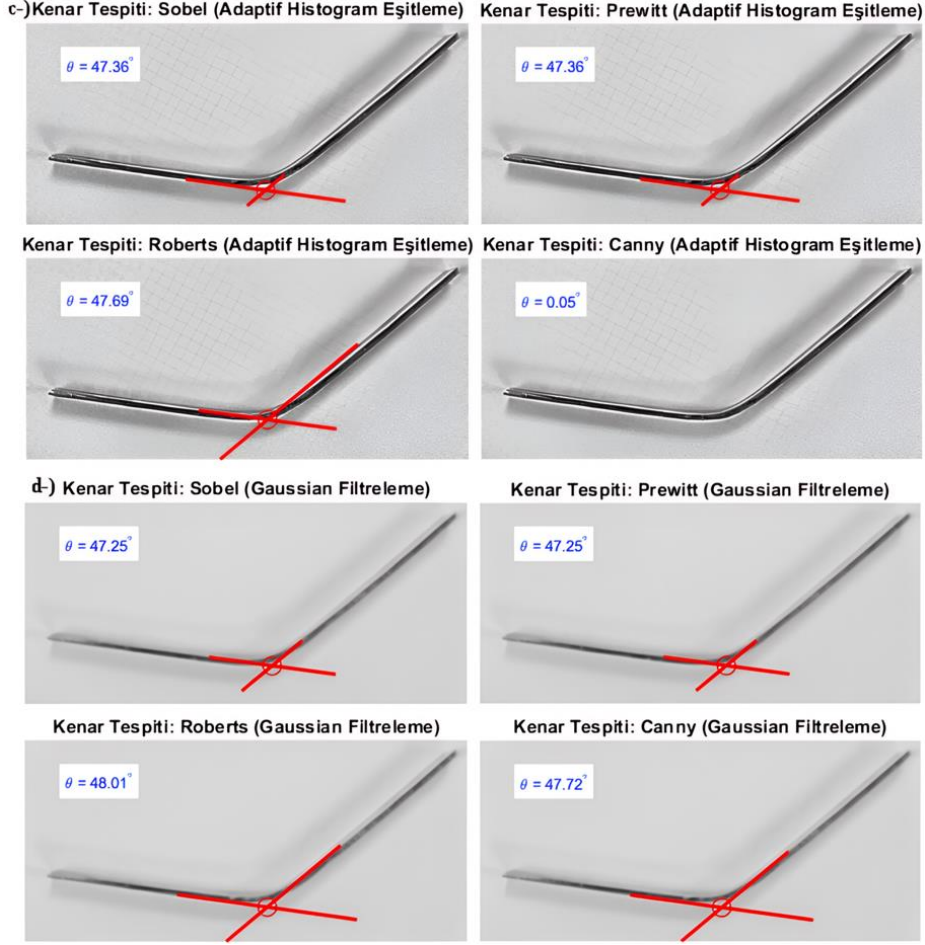
fotoğraf filtreleme yöntemine sahip toplam dört farklı kenar tespit algoritması kullanılarak geri esneme sonuçları ölçülmektedir. Toplamda 16 farklı durum için açı ölçümü yapılmakta ve kullanıcıya doğru kenar tespiti yapıp yapılmadığı, ekran üzerinde çizgilerle gösterilmektedir. Şekil 8'de, örnek bir ölçüm sonucu gösterilmektedir.



Şekil 7. Açı ölçülen bölge kenarlarının siyah ve mavi renkle boyanmasının ölçüme etkisi



Şekil 8. Hata oranını düşürmek için farklı filtreleme işlemlerinde ölçüm, (a) Orijinal, (b) Medyan, (c) Adaptif histogram eşitleme, (d) Gaussian yöntemi



Şekil 8 (Devam). Hata oranını düşürmek için farklı filtreleme işlemlerinde ölçüm, (a) Orijinal, (b) Medyan, (c) Adaptif histogram eşitleme, (d) Gaussian yöntemi

Gaussian filtreleme yönteminde, Sobel algoritması 1, Prewitt 1, Roberts 2, Canny ise 5 hatalı sonuç üretmiştir. Medyan filtreleme yönteminde ise, Sobel algoritması 4, Prewitt 2, Roberts 2, Canny ise 5 hatalı sonuç vermiştir. Adaptif histogram filtreleme yönteminde ise, Sobel algoritması 4, Prewitt 4, Roberts 1, Canny ise 14 hatalı sonuç üretmiştir.

Farklı filtreleme yöntemlerinin ve kenar tespit algoritmalarının özellikleri gereği çalışma prensipleri ve parametre ayarları farklıdır. Dolayısıyla her filtreleme yöntemi ve kenar tespit algoritması, belirli tipteki görüntü verilerine daha iyi veya daha kötü sonuç verebilmektedir. Ayrıca, filtreleme işlemlerinin ve kenar tespit algoritmalarının performansı, kullanılan filtre boyutları, parametre ayarları, gürültü seviyeleri ve görüntü özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değiştiğinden geliştirilen bu algoritmada bu etkenler dikkate alınmıştır. Kod, açı değerlerini hesaplarken, bütün durumlar için (16 farklı durum) açıları ölçerek bir matris (4x4) oluşturmaktadır.

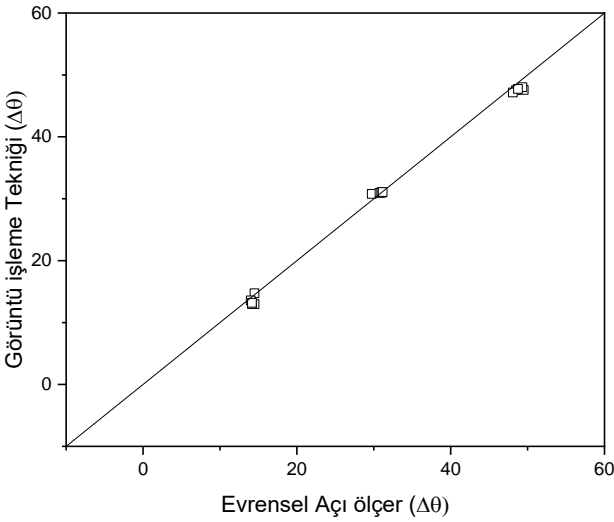
Çeşitli ölçümler veya gözlemler sırasında ortaya çıkan aykırı değerler, istatistiksel analizlerin doğruluğunu ciddi şekilde etkilemektedir. Bu tür durumlarla başa çıkmak ve veri setini temizlemek için geliştirilmiş otomatik yöntemler, analiz süreçlerini iyileştirmek adına önemli bir araç haline gelmiştir. Bu bağlamda, veri setindeki aykırı açı değerlerini

belirleyip dışlamak amacıyla bir dizi işlem gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, veri setinin standart sapması hesaplanmış ve bu standart sapmadan anlamlı ölçüde büyük değerler belirlenerek dışlanmıştır. Ardından, güncellenmiş veri seti üzerinde tekrar standart sapma hesaplatılarak ve bu sefer de standart sapmadan anlamlı ölçüde küçük olan değerler dışlanarak veri seti temizleme işlemi yaptırılmıştır. Bu otomatik işlem, veri analizi süreçlerinde güvenilir sonuçlar elde etmek adına önemli bir adım olmuştur. Sonuç olarak, yapılan bu işlem ile algoritmanın performansı artırılarak daha doğru açı değerleri elde edilmesi sağlanmıştır.

Görüntü işleme yönteminin geleneksel yöntemlere göre avantajlarını şöyle sıralayabiliriz: Otomasyon, hız, hassasiyet gibi faktörler, geri esneme ölçümlerinde elde edilen verilerin daha hızlı, otomatik ve hassas bir şekilde analiz edilebilmesine olanak tanınmasını sağlamaktadır. Ancak, bu avantajların yanında bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Donanım ihtiyacı, görüntü işleme sistemlerinin etkili bir şekilde çalışabilmesi için belirli bir donanım seviyesini gerektirmektedir. Yazılım geliştirme zorluğu, özellikle karmaşık algoritmaların tasarımı ve uygulanması konusunda uzmanlık gerektirmektedir. Veri kalitesi ve veri filtreleme konularında dikkatli bir yaklaşım gerektirmektedir. Çünkü görüntü işleme, düşük kaliteli veya gürültülü verilerle başa çıkmak için daha karmaşık filtreleme

yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, sistemdeki ayarların doğru bir şekilde yapılması ve sürekli olarak güncellenmesi gerekebilmektedir. Görüntü işleme ile geri esneme ölçümü sayesinde özellikle otomasyon ve detaylı analiz gerektiren durumlarda, geleneksel ölçüm yöntemlerine üstünlük sağlayacağı açıktır. Ancak, bu avantajları kullanabilmek için uygun eğitilmiş personel, uygun donanım ve yazılım altyapısı olması gerekmektedir.

Geliştirilen görüntü işleme algoritmasının geniş bir açı aralığında tutarlı ve doğru ölçümler yapabilme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 9). Algoritmanın performansında yapılan sürekli iyileştirmelerle ölçüm sistemini evrensel açı ölçer ile kıyaslanabilir hale getirilmiş ve genel ölçüm doğruluğu artırılmıştır.



Şekil 9. Evrensel açı ölçer ve görüntü işleme tekniğiyle geri esneme açısının ölçüm karşılaştırması

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, evrensel açı ölçer ile gerçekleştirilen ölçümlerde ortaya çıkan zorlukları aşmak amacıyla bir görüntü işleme algoritması geliştirilmiştir. Evrensel açı ölçer ile ölçüm yapıldığında, farklı kullanıcılar arasında farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Ölçümlerdeki bu farklılıkları azaltmak ve karışıklığı ortadan kaldırmak, otomasyon halinde hızlı bir ölçüm elde etmek için bu algoritma geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir:

- Gaussian filtreleme yöntemi kullanıldığında, en düşük hata oranı elde edilmiştir. Sobel ve Prewitt algoritmaları ise uygulanan testler çerçevesinde en uygun algoritmalar olarak belirlenmiştir.
- Mavi renge boyanmış kenarlar ve beyaz arka plan kombinasyonu, Sobel ve Prewitt algoritmaları için en başarılı ölçüm sonuçlarını sağlamıştır. Bu kombinasyon algoritmaların kenarları daha doğru tespit etmesine olanak tanımıştır.
- Sarı arka plan rengi kullanıldığında, özellikle Sobel ve Prewitt algoritmaları hatalı ölçümler yapmışlardır. Bu durum, arka plan renginin görüntü işleme sürecindeki önemini göstermektedir.
- Geliştirilen görüntü işleme algoritması ile yapılan ölçümler, evrensel açı ölçer ile yapılan geleneksel

ölçümlerle karşılaştırıldığında yaklaşık %3'lük bir fark göstermiştir. Bu, algoritmanın geniş bir açı aralığında tutarlı ve doğru ölçümler yapabilme kapasitesini göstermektedir.

- İki farklı kullanıcı tarafından gerçekleştirilen geleneksel ölçüm sonuçları arasında %2'lik bir hata payı tespit edilmiştir. Bu, otomatik görüntü işleme algoritmasının kullanıcıdan kullanıcıya değişen sonuçlar üretme olasılığını azalttığı bir göstergesidir.

Teşekkür

Bu çalışma Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: MMF.A4.23.008 (This work was supported by Ahi Evran University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: MMF.A4.23.008)

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %2

Kaynaklar

- [1] R. C. Stephens, J.J. Ward, Properties of Materials. Applied Mechanics, Macmillan Education UK, 99-107, 1972. https://doi.org/10.1007/978-1-349-00870-4_9
- [2] W. D. Carden, L. M. Geng, D. K. Matlock, R. H. Wagoner, Measurement of springback. International Journal of Mechanical Sciences, 44(1), 79-101, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0020-7403\(01\)00082-0](https://doi.org/10.1016/S0020-7403(01)00082-0)
- [3] S. Chikalthankar, G. Belurkar, V. Nandedkar, Factors affecting on springback in sheet metal bending: a review. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 3(4), 247-251, 2014.
- [4] R. H. Wagoner, H. Lim, M.-G. Lee, Advanced Issues in springback. International Journal of Plasticity, 45 3-20, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2012.08.006>
- [5] Z. Cinar, M. Asmael, Q. Zeeshan, B. Safaei, Effect of springback on A6061 sheet metal bending: a review. Jurnal Kejuruteraan, 33(1), 13-26, 2021. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33\(1\)-02](https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33(1)-02)
- [6] S. Carmignato, A. Voltan, E. Savio, Metrological performance of optical coordinate measuring machines under industrial conditions. CIRP Annals, 59(1), 497-500, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.128>
- [7] L. D'Acquisto, L. Fratini, An Optical Technique for Springback Measurement in Axisymmetrical Deep Drawing Operations. Journal of Manufacturing Processes, 3(1), 29-37, 2001. [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(01\)70031-X](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(01)70031-X)
- [8] J. Jans, Get More Out of Your CMM. Quality, 48(5), 32, 2009.
- [9] G. Samtaş, M. Gülesin, Sayısal görüntü işleme ve farklı alanlardaki uygulamaları. Ejevoc (Electronic Journal of Vocational Colleges), 2(1), 85-97, 2011.
- [10] K. K. Çevik, A. Çakı, Görüntü İşleme Yöntemleriyle Araç Plakalarının Tanınarak Kapı Kontrolünün Gerçekleştirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(1), 31-38, 2010.

- [11] H. Y. Demirbaş, İ. Dursun, Buğday tanelerinin bazı fiziksel özelliklerinin görüntü işleme tekniğiyle belirlenmesi. *Journal of agricultural sciences*, 13(03), 176-185, 2007.
- [12] S. Solak, U. Altınışık, Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 56-65, 2018.
- [13] B. Şin, İ. Kadioğlu, İnsansız hava aracı (İHA) ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı ot tespitinin yapılması. *Turkish journal of weed science*, 22(2), 211-217, 2019.
- [14] A. Eldem, H. Eldem, A. Palali, Görüntü işleme teknikleriyle yüz algılama sistemi geliştirme. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 44-48, 2017.
- [15] K. Sabancı, C. Aydın, Görüntü işleme tabanlı hassas ilaçlama robotu. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(4), 406-414, 2014.
- [16] M. Kuncan, H. M. Ertunç, G. Küçük yıldız, B. Hızarcı, H. Ocak, S. Öztürk, Görüntü işleme tabanlı zeytin ayıklama makinesi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 459-464, 2013.
- [17] K. Sabancı, C. Aydın, M. F. Ünlerşen, Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yardımıyla patates sınıflandırma parametrelerinin belirlenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2 (2 Sp: A), 59-62, 2012.
- [18] Y. Sarıkaya, O. M. R, Bilgisayarlı tomografide yeni görüntü işleme teknikleri. *Trd Sem*, 8, 1-20, 2020.
- [19] İ. Soyhan, S. Gurel, S. A. Tekin, Yapay Zeka Tabanlı Görüntü İşleme Tekniklerinin İnsansız Hava Araçları Üzerinde Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 469-473, 2021.
- [20] A. E. Aaytan, Y. Öztürk, E. Ögeç, Görüntü işleme. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 27(4), 273-277, 1993.
- [21] F. Aydemir, B. G. Cakan, A. Durmuş, K. Çavdar, Determination of press brake bending parameters for Hardox 400 steel. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 325-340, 2021.
- [22] E. Billur, B. Çetin, B. Baranoğlu, T. Muratoğlu, M. M. Yılmaz, Yüksek dayanımlı çeliklerin bükümünde geri esneme açısının görüntü işleme ile belirlenmesi. *Makina Tasarım Ve İmalat Dergisi*, 17(1), 16-20, 2019.
- [23] S. Kılıç, İ. Kacar, F. Öztürk, M. Şahin, O. Erdem, AA7075 Yaşlandırılmasında Farklı Ön Gerinmelerin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31, 23-32, 2019.
- [24] O. Koçar, S. Dikici, H. Uçar, E. Baysal, Görüntü İşleme Teknikleri ile Rulo Sac Hassas Doğrultmada Silindir Konumlarının Belirlenmesi. *El-Cezeri*, 8(2), 604-617, 2021.
- [25] G. M. Perihanoğlu, Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı. *Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2015.
- [26] I. T. Young, J. J. Gerbrands, L. J. Van Vliet, *Fundamentals of image processing*. Delft University of Technology Delft, 1998.
- [27] R. C. Gonzalez, *Digital image processing*. Pearson Education India, 2009.

