



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Stereo Görüntüleme ile Araçların Şasi Eğriliklerinin Tespiti

 Uğur Can BOZ^{a,*},  İdris SANCAKTAR^a

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ucanboz@outlook.com

DOI: 10.29130/dubited.1059019

ÖZ

Günümüzde otomotiv sektörü hızla büyümekte ve piyasaya çıkan araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Araçların üretim esnasında veya kaza sonrasında meydana gelen şasi eğriliklerinin tespiti ve tamir sürecinin ardından, bu eğriliklerin ne ölçüde giderildiğinin tespiti önem arz etmektedir. Bu çalışmada, iki kameralı ve taşınabilir stereo görüntüleme sistemi kullanılarak görüntü üzerinden araçların şasi eğriliklerinin tespiti üzerine gerçek zamanlı bir yöntem sunulmuştur. Bu amaçla, öncelikle 8 MP kameraların self-kalibrasyonu gerçekleştirilmiş, sonrasında bu kameralar bir levha üzerine paralel olarak sabitlenmiştir. Ardından oluşturulan stereo görüntüleme sisteminin dış parametreleri elde edilmiştir. Ölçüm sırasında test edilecek araç, şasi üzerindeki noktaların tamamının görülebileceği minimum seviyeye bir lift vasıtasıyla kaldırılarak görüntüler elde edilmiştir. Şasi üzerinde belirli 8 farklı nokta, görüntüler üzerinde kullanıcı tarafından işaretlenmiştir. İşaretlenen bu noktalar 3B koordinatlara dönüştürülmüş ve elde edilen koordinatlar aracılığıyla da şasi üzerinde x-y düzleminde ve z eksenini doğrultusunda bulunan eğrilikler hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda x-y düzlemi üzerinde 0-2 mm ve z yönündeki eğriliklerde 0-4 mm ölçüm hassasiyeti ile eğriliklerin tespit edildiği gösterilmiştir. Bu sistem ek bir ekipmana ihtiyaç duymadan, özellikle ikinci el araç ekspertiz merkezlerinde hızlı, ucuz ve bireysel test yapmayı mümkün hale getirecektir.

Anahtar Kelimeler: Stereo görüntüleme, Şasi ölçümü, Görüntü işleme, 3B yapılandırma

The Detection of Vehicle Chassis Curvatures with Stereo Vision

ABSTRACT

Nowadays, the automotive industry is growing rapidly and the number of vehicles on the market is increasing day by day. It is important to determine the chassis curvatures of the vehicles that occur during production or after the accident and to determine to what extent these curvatures are eliminated after the repair process. In this study, a real-time method is proposed for the detection of vehicle chassis curvatures using a portable stereo vision system with two cameras. Firstly, the self-calibration of 8 MP cameras was performed. Secondly, these cameras were fixed in parallel on a plate. Then the extrinsic parameters of the created stereo vision system were obtained. During the measurement, the vehicle to be tested was lifted to the minimum level where all the points on the chassis could be seen, using a lift, and images were obtained. 8 specific points on the chassis are marked by the user on the images. Finally, These marked points were converted into 3D coordinates, and the curvatures on the chassis in the x-y plane and on the z-axis direction were calculated using the obtained coordinates. As a result of experimental studies, it has been shown that curvatures are detected with a measurement precision of 0-2 mm on the x-y plane and 0-4 mm on the z-direction curvatures. Especially in auto expertise, this system makes it possible to perform fast, inexpensive and individual testing without the need for additional equipment.

Keywords: Stereo vision, Chassis measurement, Image processing, 3D reconstruction

I. GİRİŞ

Günümüzde kara taşıtları için standartlaştırılmış şasi tipleri kullanılmakta ve üretilen ürünler arasında farklılık olmaması amaçlanmaktadır [1], [2]. Ancak çoğunlukla bazı kazalardan sonra ve nadiren üretim sırasında araçların şasi kısımlarında eğrilikler oluşabilmektedir. Özellikle belirli bir büyüklüğün üzerinde olan bu eğrilikler aracın sürüş güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum düzeltilmesi gereken bir kusurdur. Hem bu eğriliklerin tespitinde hem de onarım aşamasında şasi üzerinde hassas ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Manuel olarak gerçekleştirilen ölçümlerde hata miktarı fazla olduğundan ölçümleri gerçekleştirmek için şasi ölçüm sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde bu alanda daha çok mekanik ölçüm sistemleri [3]–[5] kullanılsa da stereo görüntülemeye dayalı [6] yöntemler de kullanılmaktadır. Ancak literatürde stereo görüntüleme ile şasi ölçümü üzerine gerçekleştirilen herhangi bir akademik çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, stereo görüntüleme sistemi kullanılarak araç şasi eğriliğinin tespiti üzerine gerçek zamanlı çalışabilen bir yöntem önerilmiş ve bu yöntemin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Sunulan yöntemde ilk olarak iki adet 8 MP kamera kullanılarak oluşturulan stereo görüntüleme sisteminin iç ve dış parametreleri elde edilmiştir. Ardından şasi görüntüleri üzerinde kullanıcı tarafından belirtilen noktaların, kamera parametreleri kullanarak 3B koordinatları oluşturulmuştur. Elde edilen nokta koordinatlarının x-y düzleminde ve z ekseninde sapmaları kullanılarak aracın şasi eğriliğinin tespiti üzerine bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen yöntemin bir modeli ve iki farklı araç üzerinden elde edilen verileri kullanarak başarılı olduğu gösterilmiştir.

II. LİTERATÜR ÖZETİ

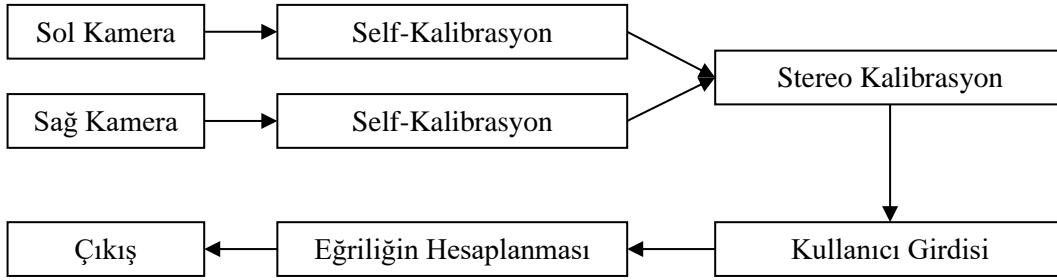
Stereo görüntüleme, kameralar tarafından elde edilen görüntüleri kullanarak temelde iki görsel ölçüm yöntemi sunar. Birinci yöntemde tek kamera üzerinden elde edilen çoklu görüntülere dayanan [7] ve ikinci yöntemde ise iki veya daha fazla kamera kullanarak derinlik bilgisini elde eden iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır [8]. İlk yöntem kameranın farklı konumlarına ve açılara ihtiyaç duyduğundan gerçek zamanlı uygulamalar için uygun değildir [9]. İkinci yaklaşımda ise 3B koordinatları elde etmek için aynı sahnenin farklı noktalarda bulunan kameralardan elde edilen görüntüleri kullanılır [7], [8]. Bu yöntemde kameralar kalibre edildikten sonra yeni açılara veya hareketlere ihtiyaç duyulmadığından gerçek zamanlı uygulamalar için daha uygundur [9].

Stereo görüntülemenin ölçüm için ek bir ekipmana ihtiyaç duymaması ve son yıllarda bu alanda meydana gelen gelişmelerle birlikte bu sistemler günümüzde savunma sanayisinde [10], mikroskobik sistemlerde [11], robotik ve endüstriyel üretimde [12], tarım sektöründe [13], drone ve benzeri otonom hava taşıtlarında [14], denizaltı teknolojilerinde [15], [16], otomotiv sektöründe [17], [18] ve benzeri birçok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Otonom araçlara olan talebin artması ile birlikte, otomotiv sektöründe de stereo görüntüleme kendine önemli bir yer edinmiştir. Gupta ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada kapalı ortamda bulunan otonom araçlar için başlangıç noktası ve hedef noktası arasında stereo görü tabanlı navigasyon oluşturulması tartışılmıştır [19]. Liu ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada 3 kameralı stereo görü sistemi kullanılarak meyve bahçesi araçları için engel algılama algoritması gerçekleştirilmiştir. [20]. Guindel ve arkadaşları kentlerde ve karmaşık yol ortamlarında dinamik nesnelerin tanınması için stereo görüntüleme ve derin öğrenmeye dayalı bir yaklaşım sunmuştur [21]. Cafiso ve arkadaşları trafikteki otobüsler ve yolcular arasındaki çarpışmaları önlemek amacıyla GPS ve stereo görüntülemeye dayalı bir yaklaşım sunmuştur. Bahsedilen çalışmada toplanan verileri kullanarak yayalar ve otobüsler arasında gerçekleşebilecek bir çarpışmanın risk indeksi sunulmuştur [22].

III. MATERYAL VE METOD

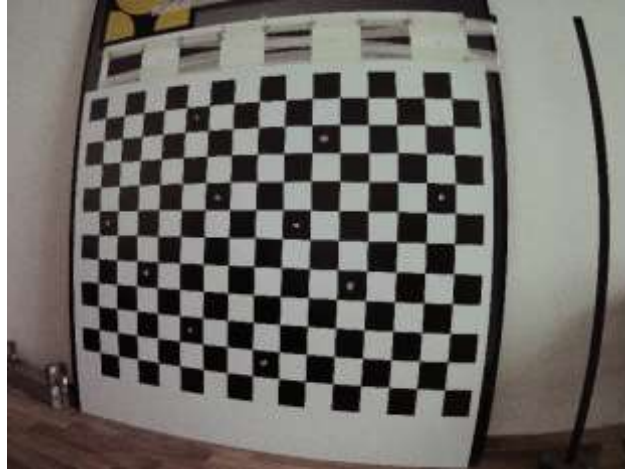
Bu çalışma araçların şasileri üzerinde kaza veya benzeri nedenlerden dolayı oluşan eğriliklerin tespiti için bir ölçüm yöntemi sunmaktadır. Gerçekleştirilen sistemin genel yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. İlk olarak her bir kameranın bozulmalarının ve iç parametrelerinin hesaplanması için kamera kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Ardından kameralar 50 cm uzunluğunda metal bir bar üzerine sabitlenerek stereo kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Şasi üzerinde bulunan 8 farklı noktanın koordinatlarının belirlenmesi için gerçekleştirilmiş yazılım üzerinden görüntüler elde edilmiştir. Görüntü üzerindeki noktalar kullanıcı tarafından işaretlenmiştir. Son olarak işaretlenmiş noktalar, gerçekleştirilmiş yazılım yardımı ile 3B koordinatlara dönüştürülerek şasi eğriliği hesaplanmıştır.



Şekil 1. Gerçekleştirilen sistemin genel yapısı.

A. KAMERA KALİBRASYONU

Ölçüm işleminin doğru şekilde gerçekleştirilebilmesi için kameraların radyal ve teğetsel bozulmalarının belirlenmesi gerekmektedir. Kameraların kalibrasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla Şekil 2’de gösterilen 16x12 boyutunda ve her karenin bir kenar uzunluğu 89.3 mm olan bir kalibrasyon görüntüsü imal edilmiş ve kullanılmıştır.

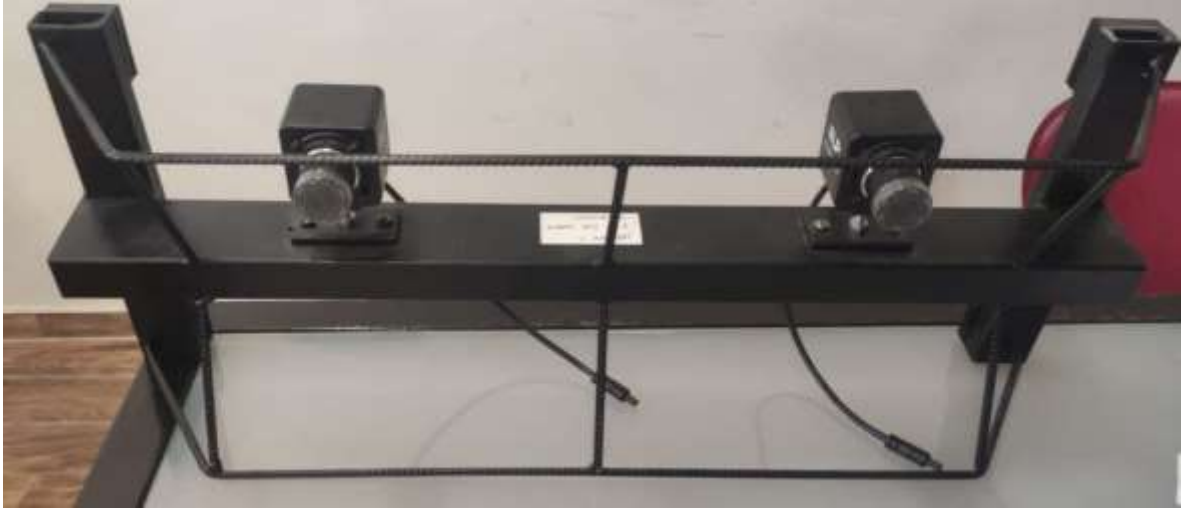


Şekil 2. Kalibrasyon için kullanılan kareli tahtanın görüntüsü.

Stereo görüntüleme aşamasında kullanılacak her bir kamera için 50 adet görüntü kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi Python dili ve OpenCV kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

B. STEREO GÖRÜNTÜLEME

Görüntülerden derinlik bilgilerinin elde edilmesi için kameraların dış (extrinsic) parametrelerinin hesaplanması gerekir [8], [23]. Bu nedenle, aynı tipte iki adet 8 MP kamera, paralel ve temel mesafesi (baseline) 30 cm olacak şekilde sabitlenerek Şekil 3’de gösterilen stereo görüntüleme sistemi oluşturulmuştur. Sistemde oluşabilecek bozulmaları en aza indirmek amacıyla oluşturulan sistemin dışında koruma bağlantıları kullanılmıştır. Kalibrasyon için Şekil 2’de gösterilmiş kalibrasyon tahtası kullanılarak her iki kameradan eş zamanlı olarak 50 adet görüntü alınmıştır. Elde edilen görüntüler, OpenCV kütüphanesi kullanılarak stereo görüntüleme sisteminin dış parametreleri hesaplanmıştır.

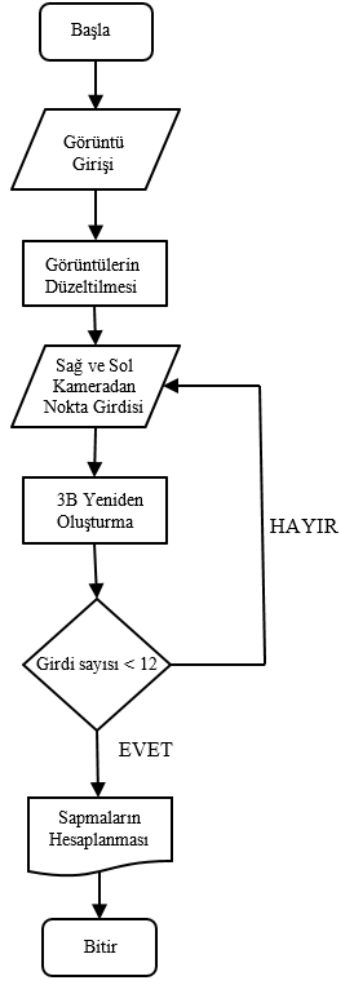


Şekil 3. Stereo kamera sistemi.

C. ÖLÇÜM ÜNİTESİ

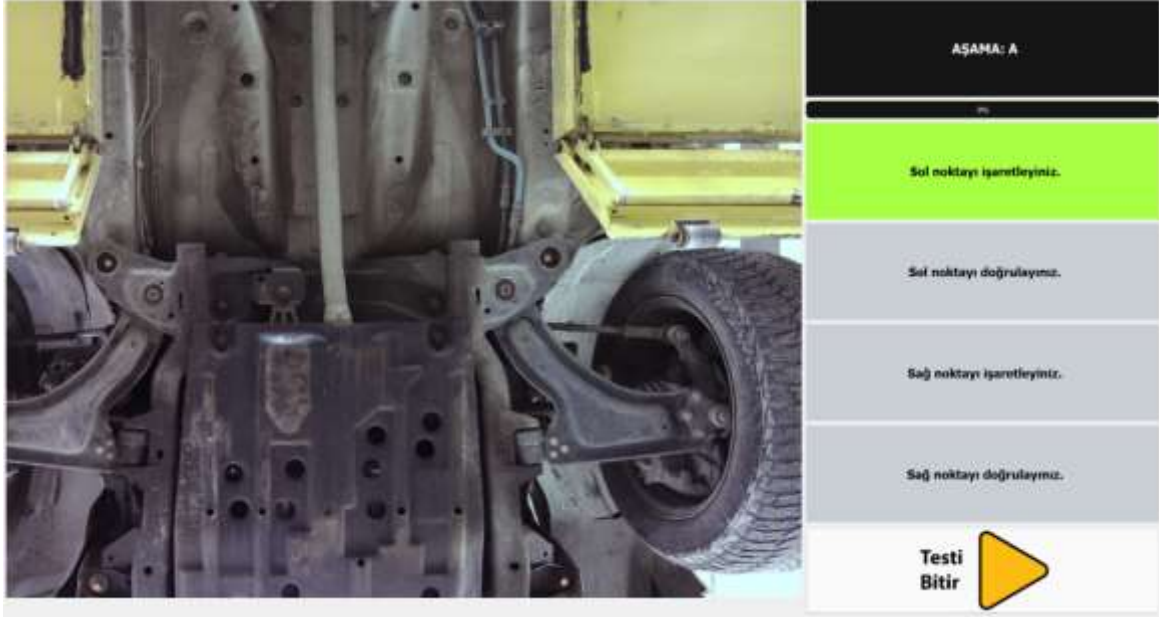
C. 1. Test Yazılımı

Ölçme işleminin gerçekleştirilmesi ve test koşullarının iyileştirilmesi amacıyla Python ve PyQt5 kütüphanesi kullanılarak bir masaüstü yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılımın akış şeması Şekil 4’de gösterilmektedir. İlk olarak stereo görüntüleme sisteminin hedef noktaları en iyi gördüğü noktaya kolayca ayarlanabilmesi için yazılım üzerinden görüntülerin canlı olarak takip edilmesi sağlanmıştır. Stereo görüntüleme sisteminin konumu ayarlandıktan sonra iki kameradan anlık olarak alınan görüntüler kamera parametreleri kullanılarak düzeltilmiştir. Düzeltilen görüntüler Şekil 5’te gösterilen test ekranına taşınmıştır. Test ekranında ölçüm için gerekli noktalar kullanıcı tarafından işaretlenmiştir. Elde edilen her nokta, daha önceden hesaplanmış kamera parametreleri kullanılarak 3B koordinatlara çevrilmiştir. Şasi üzerinde bulunan 8 farklı nokta için her biri bu noktalardan 4 tanesini barındıran 3 farklı görüntü kullanılmıştır. Noktalar farklı görüntüler üzerinden seçildiğinden, noktalar arasındaki ilişkinin kaybedilmemesi için birinci ve ikinci görüntü ile ikinci ve üçüncü görüntü arasındaki ikişer nokta ortak kullanılması gerektiği için kullanıcıdan 12 nokta girdisi istenmiştir. Test için gerekli nokta sayısı tamamlandıktan sonra elde edilen 3B koordinatlar kullanılarak şasi üzerindeki sapmalar hesaplanmıştır. Test verilerinin takibinin kolaylaştırılması amacıyla kullanıcı girdileri, 3B noktalar ve test sonuçları MySQL veri tabanına kaydedilmiştir.

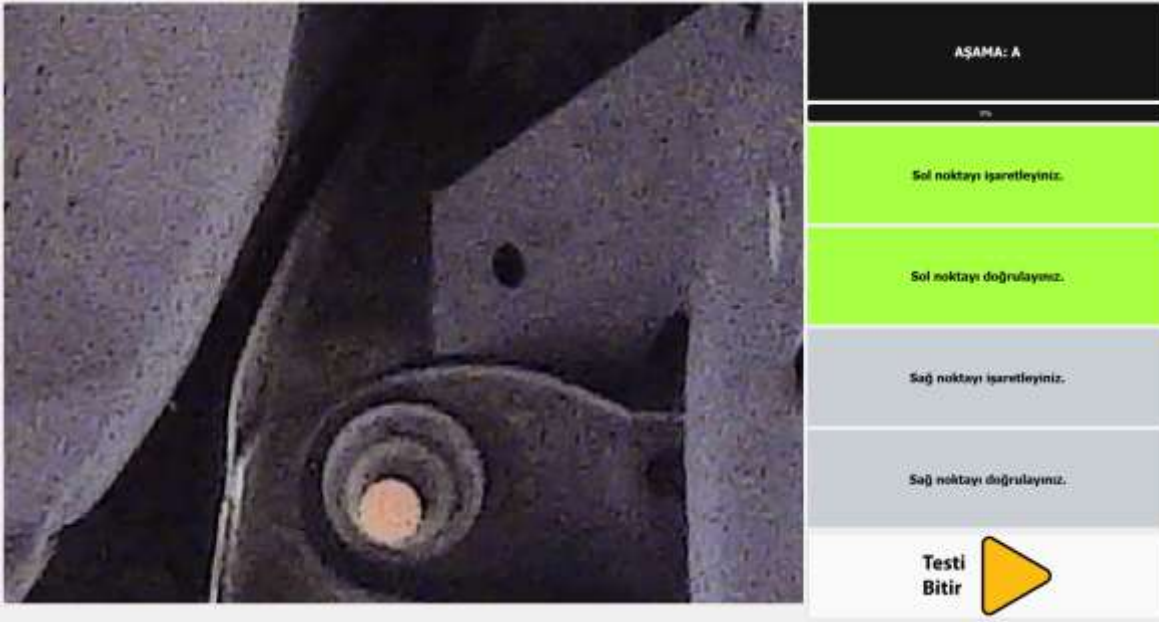


Şekil 4. Yazılımın akış şeması.

Şekil 5’te noktaların kullanıcı tarafından işaretlenmesi için oluşturulmuş orijinal ve yakınlaştırılmış görüntüleri içeren yazılım ekranı gösterilmektedir. Noktaların kullanıcı tarafından işaretlenmesi, ölçüm sonuçları üzerinde muhtemel kullanıcı hatalarına neden olabilir. Bu hataların azaltılması amacıyla test ekranında elde edilen her bir noktanın belirlenmesi sürecinde iki aşamalı bir yöntem kullanılmıştır. İlk aşamada düzeltilmiş görüntü üzerinde nokta işaretlenmiş ve ikinci aşamada bu noktanın yakınlaştırılmış görüntüsü üzerinden doğrulanması istenmiştir.



a)



b)

Şekil 5. Yazılım test ekranında a) orijinal görüntü ve b) yakınlaştırılmış görüntü.

Stereo görüntüleme sistemlerinde, kameralarda zamanla oluşabilecek küçük oynamalar bile kameraların dış parametrelerini değiştireceğinden ölçüm doğruluğunu etkileyecektir. Bu nedenle, kameralardaki sapmaların kullanıcı tarafından belirlenebilmesi için sol kameradan elde edilen görüntüde işaretlenen noktanın sağ kamera üzerindeki epipolar çizgisi Şekil 6'da gösterildiği gibi görüntü üzerinde belirtilmiştir. Bu işlem ayrıca kullanıcı hatalarının belirlenmesini ve azaltılmasını da sağlamaktadır.



Şekil 6. Gerçekleştirilen yazılım üzerinde epipolar çizginin gösterilmesi (kırmızı).

C. 2. Test Ortamı

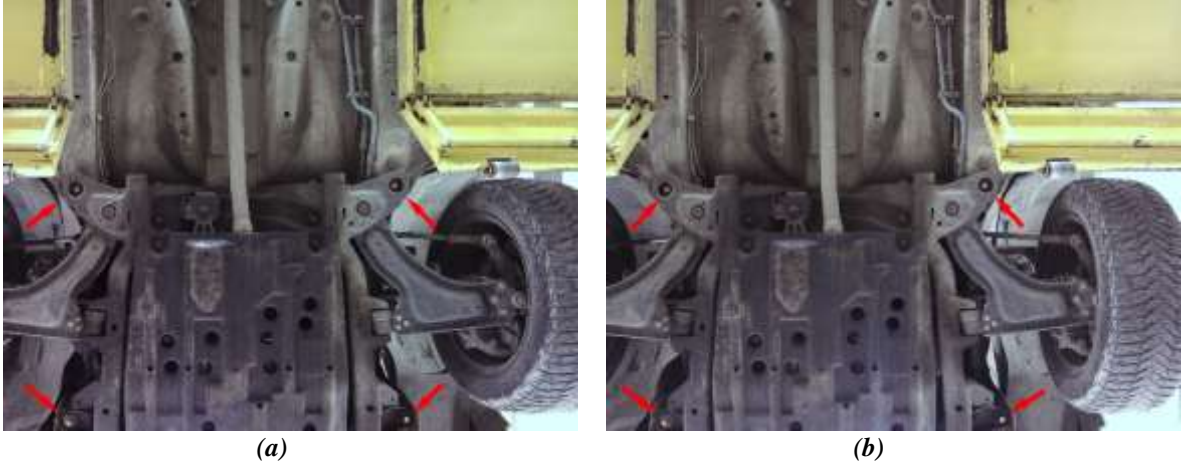
Şekil 7’de bir aracın test sırasındaki görüntüsü verilmiştir. Test aracı, oluşturulan stereo görüntüleme sisteminin aracın şasisini enine tamamen görebileceği düzeyde yaklaşık 150-200 cm kaldırılmıştır. Bu sayede kameraların, aracın herhangi bir noktasından rahatlıkla görüntü alabilmesi ve test görüntülerinin elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 7. Test görüntüsü.

C. 3. Test Görüntülerinin Elde Edilmesi

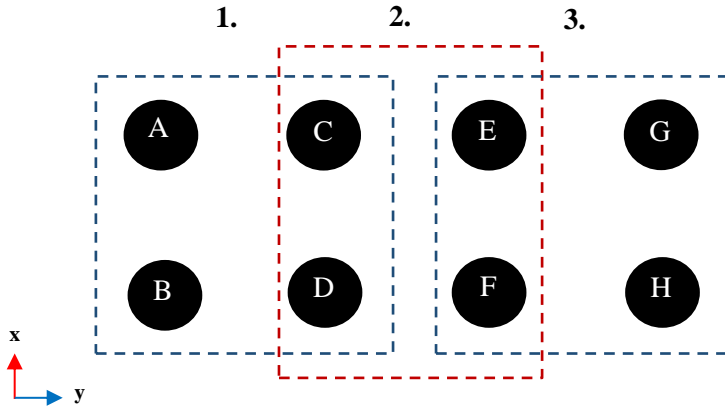
Şekil 8’de bir araçtan test sırasında elde edilen sağ ve sol kameraya ait görüntüler gösterilmektedir. Görüntülerde noktaların kullanıcı tarafından daha kolay ve doğru şekilde işaretlenebilmesi için şasi üzerinde seçilecek noktalar, rahatlıkla belirlenebilecek farklı bir renkte daire ile işaretlenmiştir. Her bir test için, toplam 8 farklı noktayı barındıran 3 farklı görüntü alınmıştır.



Şekil 8. (a) Sol ve (b) Sağ kameradan elde edilen şasi görüntüleri.

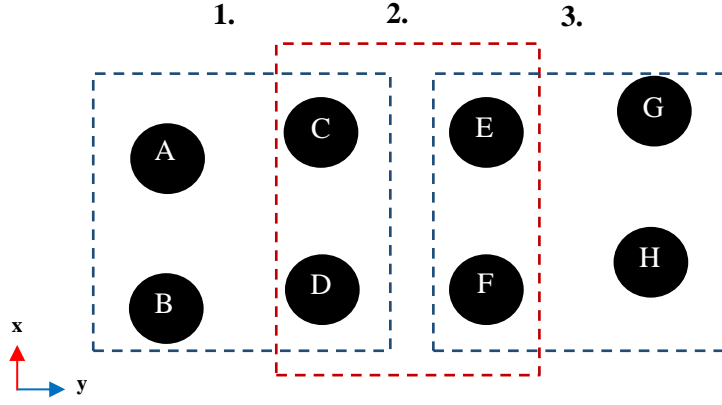
D. EĞRİLİK TESPİTİ

Her bir test için araç şasisi üzerinden seçilen noktaların x-y düzlemi üzerindeki bir modellemesi Şekil 9’da gösterilmiştir. Çapraz uzunluk farklarının karşılaştırılabilmesi için her bir bölgede bulunan noktaların dört tanesinin kesişimi bir dikdörtgen, kare veya ikizkenar yamuk oluşturabilecek şekilde seçilmiştir. Araç ve stereo görüntüleme sistemi arasındaki mesafe arttıkça ölçüm hassasiyetinden taviz verileceğinden dolayı bir test 3 parçaya bölünmüştür. Sırayla aracın ön, orta ve arka kısmındaki eğriliklerin tespiti birinci, ikinci ve üçüncü görüntü ile sağlanmıştır.



Şekil 9. Şasi üzerinden elde edilen noktaların modellemesi.

Araçlarda x-y düzleminde olan eğrilikler, Şekil 10’da gösterildiği gibi görüntülerdeki çapraz noktaların uzaklıkları arasındaki mesafelerin farklı olmasına neden olacaktır. Çapraz eşitsizliklerin tespiti için, birinci görüntüde A-D ile B-C, ikinci görüntüde C-F ile D-E ve son görüntüde E-H ile F-G noktalarının Öklid mesafeleri arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Şekil 9’da olduğu gibi, herhangi bir sapmanın olmaması halinde, bu noktaların Öklid mesafelerinin arasındaki farkın 0 olması beklenmektedir.



Şekil 10. Araçta kaza sonucu oluşabilecek eğriliklerin modellenmesi.

Hem z yönünde hem de x-y düzlemi üzerinde aynı anda sapmalar olması durumunda, Öklid mesafelerinin eşit çıkması mümkündür. Bu durumda olası sapmaların göz ardı edilmemesi için z yönündeki sapmalar da hesaplanmıştır. Öncelikle her bir görüntüde bulunan 4 nokta kullanılarak her bir görüntü için bir düzlem oluşturulmuş ve bu düzleme olan sapmalar hesaplanmıştır. Şekil 9’da gösterilen örnek A-B-C-D noktaları için,

$$ax + by + cz = d \quad (1)$$

oluşturulan düzlem formülü, \vec{r} düzlem üzerindeki herhangi bir noktanın konum vektörü ve \vec{r}_A ise A noktasının konum vektörü olmak üzere A, B ve D noktalarının düzlem denklemini Denklem 2 ve Denklem 3 kullanılarak ve C noktasının bu düzleme olan sapması Denklem 4 kullanılarak elde edilmiştir.

$$\vec{n} = \overline{AB} \times \overline{AD} \quad (2)$$

$$\vec{n} \cdot (\vec{r} - \vec{r}_A) = d \quad (3)$$

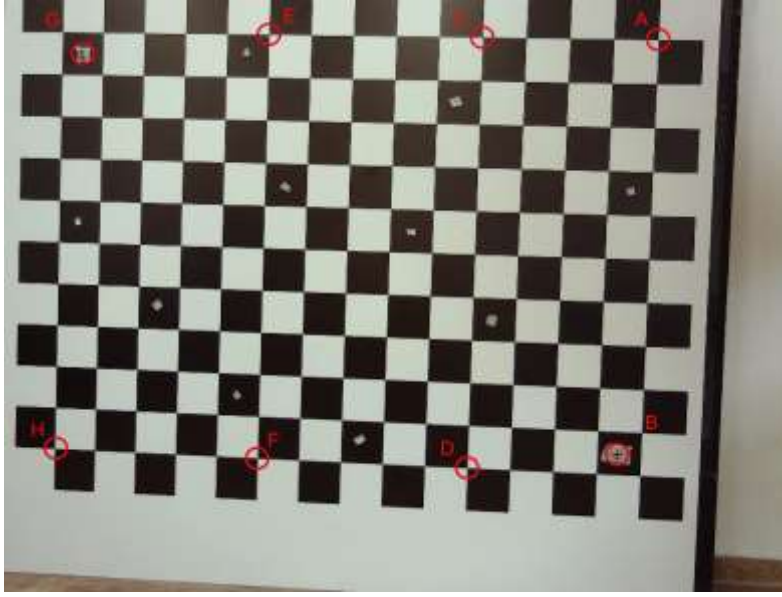
$$d = \frac{|aC_x + bC_y + cC_z - d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (4)$$

Aracın dış noktaları olan A-B-G-H noktalarında sapma olasılığının yüksek olmasından ötürü aracın ön ve arka bölgelerinde gerçekleştirilen testlerde dış noktaların ikisi birden referans düzlem oluşturmak için kullanılması, muhtemel yanlış sonuçlara neden olacaktır. Bu nedenle, aracın ön kısmında (birinci görüntü) C-D noktaları ve aracın arka kısmında (üçüncü görüntü) ise E-F noktaları doğru varsayılarak dış noktaların her birinin diğer noktaların oluşturduğu düzleme olan sapması hesaplanmıştır. Aracın orta kısmında (ikinci görüntü) ise dört noktanın da diğer 3 noktanın oluşturduğu düzleme olan sapması hesaplanmıştır. Son olarak, her bölge için elde edilen en yüksek sapma değeri o bölgenin genel sapma değeri olarak verilmiştir.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada araçların şasileri üzerinde bulunan eğriliklerin tespiti için hızlı ve kolay uygulanabilir bir yöntem sunulmuştur. İlk olarak Şekil 2’de gösterilmiş kalibrasyon tahtası üzerine yüksekliği bilinen 2 cisim yapılandırılmıştır. Ardından bu model üzerinde sapmaya neden olan cisimlerin yükseklikleri ve x-y düzlemindeki sapmaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Ardından bu yöntemin 2 araç üzerinde bir uygulaması sunulmuştur.

Oluşturulan test modelinin düzeltilmiş ve test noktalarının işaretlenmiş hali Şekil 11’de gösterilmiştir. Belirtilen modelde B noktası 6 mm ve G noktası 10 mm diğer noktaların bulunduğu düzlemin dışındadır.

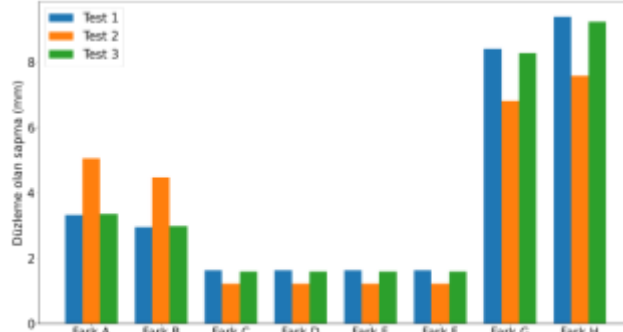


Şekil 11. Kalibrasyon görüntüsü üzerinde oluşturulan test modeli.

Oluşturulan modelin 3 farklı noktadan elde edilen görüntüleri kullanılarak 3 test gerçekleştirilmiştir. Testlerde çapraz noktaların uzunluklarının farkları Tablo 1’de, her noktanın oluşturulan düzleme olan sapması Şekil 12’de verilmiştir. Şekil üzerinde bulunan G ve B noktalarındaki sapmalardan ötürü birinci ve üçüncü bölgede çapraz uzunluklar arasında dengesizlik olduğu görülmektedir. Model üzerinde gerçekleştirilen testlerde ise birinci ve üçüncü bölgede x-y düzlemi üzerinde yaklaşık 61 mm olan sapma değeri ortalama 1.02 mm hata ile tespit edilmiştir. Benzer şekilde düzleme olan uzaklıklar incelendiğinde, ön bölgede 3-5 mm ve arka bölgede 7-10 mm z yönünde sapmaların tespit edildiği 3 testte de görülmektedir. Son olarak, x-y düzlemi üzerinden alınan ölçümlerde 0-2 mm hassasiyet elde edilirken, z yönünde elde edilen ölçümlerde bu değer 0-4 mm’ye kadar çıkmıştır.

Tablo 1. Çapraz noktaların Öklid mesafeleri ve oluşan sapma değerleri.

Bölge	Noktalar	Test 1 (mm)	Test 2 (mm)	Test 3 (mm)
1	A-D	997.63	999.14	998.10
	B-C	937.61	937.67	937.56
	Fark	60.02	61.47	60.54
2	C-F	961.72	962.46	962.65
	D-E	962.53	962.83	962.31
	Fark	0.81	0.37	0.34
3	E-H	998.39	998.26	999.72
	F-G	938.41	939.26	939.92
	Fark	59.98	59	59.8

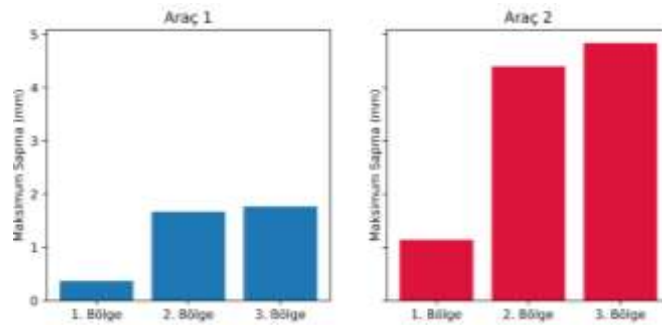


Şekil 12. Noktaların oluşturulan düzleme olan sapması.

Tablo 2’de, araçlar üzerinde gerçekleştirilen iki testten elde edilen Öklid mesafeleri ve her bölge için bu değerlerin farkları gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 13’te bu testlerde z ekseni doğrultusunda her bölgede oluşan maksimum sapmalar gösterilmektedir. Bu sonuçlardan birinci aracın ön kısmında x-y düzleminde ve ikinci aracın orta ve arka kısmında z ekseni doğrultusunda oluşan eğriliklerin olduğu görülmektedir.

Tablo 2. İki araçtan elde edilen çapraz noktaların Öklid mesafeleri ve sapma değerleri.

Bölge	Noktalar	Araç 1 (mm)	Araç 2 (mm)
1	A-D	1078.82	821.39
	B-C	1087.81	820.27
	Fark	8.99	1.12
2	C-F	846.07	819.89
	D-E	847.92	821.68
	Fark	1.85	1.79
3	E-H	634.72	822.04
	Fark	0.16	1.29



Şekil 13. Araçlarda z ekseni doğrultusunda gerçekleşen sapma değerleri.

Literatürde şasi ölçümü üzerine gerçekleştirilmiş benzer çalışmalar vardır [3]–[6]. Bu çalışmalarda mekanik ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Ancak çalışmalarda ölçüm doğruluğuna dair bir veri paylaşılmadığından yöntemlerin teknik karşılaştırılması yapılamamıştır.

Gerçekleştirdiğimiz çalışmanın bazı kısıtlamaları mevcuttur. Çalışma sonuçları nispeten dar bir veri kümesi ve ortam şartları altında gerçekleştirilmiştir. Sunulan yöntem hem bir model hem de araç üzerinde gerçekleştirilen test sonuçlarını sunuyor olmasına rağmen, hesaplanacak noktalar kullanıcı tarafından işaretlendiğinden belirtilen ölçüm hassasiyeti bireylere ve/veya bireylerin belirtilen sisteme olan uyumuna göre değişmesi mümkündür. Örneğin, karanlık veya aşırı parlak ortam koşulları altında

görüntü seçiciliğinin azalmasından ötürü ölçüm doğruluğu da azalmaktadır. Ancak çalışmanın model testleri aydınlatmanın uygun olduğu ofis ortamında, araç testleri ise aydınlatmanın ayarlandığı bir araç ekspertiz merkezinde gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda, kullanıcı hatalarını ortadan kaldırmak için belirtilen yöntem değiştirilmeden şasi üzerindeki noktaların otomatik algılanabileceği köşe motifleri barındıran modeller üzerinden veriler elde edilebilir. Bu yaklaşım elde edilen veri sayısını artıracığından oluşturulan düzlem doğruluğunun iyileştirilmesine olanak sağlayabilir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, iki adet 8 MP kamera içeren bir stereo görüntüleme sistemi kullanarak şasi üzerinde bulunan eğriliklerin tespiti üzerine gerçek zamanlı bir yöntem sunulmuştur. Ayrıca önerilen sistemin bir test modeli ve iki araç üzerinde testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarından elde edilen veriler, sunulan yöntemin x-y düzlemi üzerinde 0-2 mm ve z doğrultusunda 0-4 mm hassasiyet ile eğrilikleri başarılı şekilde tespit edebildiğini göstermektedir. Belirtilen yöntem ek bir ekipman gerektirmediğinden piyasada kullanılan mekanik yöntemlere göre daha ucuz ve kullanımı kolaydır. Bu nedenle önerilen yöntem ekspertiz merkezleri ve araç tamir noktalarında kullanım potansiyeli taşımaktadır.

TEŞEKKÜR: Desteklerinden ötürü TAMİŞ SERPAUTO'ya teşekkür ederiz.

VI. KAYNAKLAR

- [1] M. H. Doğru, “Çoklu yükleme koşulları altında kamyon şasisinin topoloji optimizasyonu,” *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 2019, s. 3, ss. 856–867, 2019.
- [2] M. Ayaz, K. Erhan, A. Aktaş, E. Özdemir, ve H. Salihoğlu, “Araç yakıt tankı montajı için otomasyon sistem tasarımı ve uygulaması,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 3, ss. 357–366, 2015.
- [3] T. Granata, “Chassis measuring apparatus and method of measuring a chassis,” U.S. Patent 20010052174A1, 2000.
- [4] J. C. Hodge, “Apparatus and method for wheel alignment, suspension diagnosis and chassis measurement of vehicles,” U.S. Patent 5675515A, 1995.
- [5] K. Ayaz, İ. Sancaktar, ve S. Karagöl, “Mikroişlemci denetimli beş serbestlik derecesine sahip Robot İle Yüzey Ölçümü,” *III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi*, Gaziantep, Türkiye, 2018, ss. 2211–2218.
- [6] Nitromac. (2021, December 22). *New generation 3D wheel alignment system and chassis measurement system for heavy duty* [Online]. Available: <https://nitromac.com/en/urunler/otomotiv/wheel-alignments/wa3056-yeni-nesil-agir-vasitalara-ozel-3d-kamerali-rot-ayar-ve-sase-olcum-cihazı/>.
- [7] Y. Xiao and K. Bin Lim, “A prism-based single-lens stereovision system: from trinocular to multi-ocular,” *Image and Vision Computing*, vol. 25, no. 11, pp. 1725–1736, 2007.
- [8] Z. Zhang, “A flexible new technique for camera calibration,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330–1334, 2000.

- [9] S. Bi, Y. Gu, Z. Zhang, H. Liu, C. Zhai, M. Gong, "Multi-camera stereo vision based on weights," *2020 IEEE Int. Instrumentation and Measurement Technology Conf. (I2MTC)*, Dubrovnik, Croatia, pp. 1–6, 2020.
- [10] J. Cui, D. Feng, C. Min, and Q. Tian, "Novel method of rocket nozzle motion parameters non-contact consistency measurement based on stereo vision", *Optik (Stuttg.)*, vol. 195, no. July, 2019.
- [11] Y. Hu, Q. Chen, S. Feng, T. Tao, A. Asundi, and C. Zuo, "A new microscopic telecentric stereo vision system - Calibration, rectification, and three-dimensional reconstruction," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 113, pp. 14–22, 2019.
- [12] T. Jiang, H. Cui, and X. Cheng, "A calibration strategy for vision-guided robot assembly system of large cabin," *Measurement*, vol. 163, no. 107991, 2020.
- [13] A. L. Kaczmarek, "Stereo vision with equal baseline multiple camera set (EBMCS) for obtaining depth maps of plants," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 135, pp. 23–37, 2017.
- [14] Y. Yu, C. Long, and Z. Weiwei, "Stereo vision based obstacle avoidance strategy for quadcopter UAV," *2018 Chinese Control And Decision Conf. (CCDC)*, Shenyang, China, 2018, pp. 490–494.
- [15] C. Wang, Q. Zhang, S. Lin, W. Li, X. Wang, Y. Bai and Q. Tian, "Research and experiment of an underwater stereo vision system," *OCEANS 2019 - Marseille*, Marseille, France, 2019 pp. 1–5.
- [16] F. Oleari, F. Kallasi, D. L. Rizzini, J. Aleotti, and S. Caselli, "An underwater stereo vision system : from design to deployment and dataset acquisition," *OCEANS 2015*, Genova, Italy, 2015.
- [17] Y. Li, P. Chen, and M. Zhang, "The vehicle distance measurement system based on binocular stereo vision," *Proc. of the 2015 Int. Conf. on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation*, Shandong, China, 2015, pp. 437–444, , doi: 10.1007/978-3-662-49370-0.
- [18] Y. Li and C. Papachristou, "Road pothole detection system based on stereo vision," *IEEE Nat. Aerospace and Electronics Conf. (NAECON)*, Dayton, USA, 2018, pp. 292–297.
- [19] D. Gupta, R. Sharma, V. Basant, H. Jha, and D. Chakravarty, "Autonomous navigation and path planning for ground vehicle in indoor environment," *2020 7th Int. Conf. Signal Process. Integr. Networks (SPIN 2020)*, Noida, India, pp. 510–513, 2020.
- [20] S. Liu, X. Wang, S. Li, X. Chen, and X. Zhang, "Obstacle avoidance for orchard vehicle trinocular vision system based on coupling of geometric constraint and virtual force field method," *Expert Systems with Applications*, vol. 190, 2022.
- [21] C. Guindel, D. Martín, and J. M. Armingol, "Traffic scene awareness for intelligent vehicles using ConvNets and stereo vision," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 112, pp. 109–122, 2019.
- [22] S. Cafiso, A. Di Graziano, and G. Pappalardo, "In-vehicle stereo vision system for identification of traffic conflicts between bus and pedestrian," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Ed.)*, vol. 4, no. 1, pp. 3–13, 2017.
- [23] İ. Sancaktar, "Harici fiksator uygulamasli kırık kemiklerin tedavisinde otomatik redüksiyon yapabilen medikal robotun gerçekleştirilmesi," *Doktora Tezi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye*, 2018.