

FREN HORTUMLARININ SERVİS ŞARTLARI ALTINDAKİ HAREKETLERİNİN ROBOTİK SİSTEM İLE CAD ORTAMINA AKTARILMASI

*Mustafa ÇAKIR**
*Cengiz DENİZ***

Alınma: 29.06.2018 ; düzeltme:13.09.2018 ; kabul: 06.04.2019

Öz: Fren hortumunu tekerlek ve şasi arasında kendisi için bırakılmış olan boşlukta güvenli bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu dar hacimde çevre parçalara temas etmeden ve üzerinde aşırı eğilme ve burulma gerilimlerine yol açmadan uygun bir fren hortumu montaj şekli tespit etmek imalatçıların önemli sorunlarından birisidir. Fren hortumunun hareketlerinin benzetimler yoluyla kestirilmesi doğrusal olmayan dinamik yapılarından dolayı çok kolay değildir. Modellenen hortum yapısının pek çok parametreye bağlı hareketi üzerinde sonuç oluşturmak otomotiv firmaları tarafından güvenilir bulunmadığı için kabul edilen bir yöntem değildir.

Bu makalede, otomotiv üreticileri tarafından verilen, araca ait hareket bilgilerinden yola çıkarak fren hortumu bağlantısı için en uygun yapının tespiti ve bağlantının olası hareketlerine ait CAD (Computer Aided Design) dosyalarının oluşturulması süreci için geliştirilen yöntem tanıtılmaktadır. Robotik kollar ile fren hortumunun araç üzerindeki hareketleri canlandırılırken kameralar yardımıyla hortumun aldığı şekil yüksek kesinlik ile belirlenecektir. Kameralar tarafından elde edilecek nokta bulutları daha sonra müşteriye verilecek 3D CAD verisine çevrilecektir. Böylece müşteri diğer bileşenler ile çarpışma risklerini değerlendirebilecektir. Bu sistem ayrıca kalite kontrol ölçümleri için de kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Yörünge Modelleme, Robotik Ölçme, Robotik İnceleme

Transfer of Brake Hoses' Motion Under Service Conditions to CAD Environment with Robotic System

Abstract: The brake hose should be freely assembled in its own space between the steering and the chassis. In this narrow volume, without contacting to the surrounding components and without extreme bending and torsional forces, obtaining a proper routing is one of the important problems of the manufacturers. Predicting the motion of the brake hoses via simulations is not straightforward because of their nonlinear dynamic structures. Presenting any result for the hose structure which has too many parameters via simulations is not an accepted method for automobile manufacturers because of unreliability.

In this study, a methodology to determine the optimum routing for brake hose assembly bound up with vehicle dynamics, given by automobile manufacturers and to build up a CAD files of all different potential postures is introduced. Shape of brake hoses will be determined by the vision system with high preciseness while robotic arms are animating the hose motion. Point clouds supplied from optical systems will be converted to CAD data for the customers. Thus the customer can evaluate contact risks within the other components. This system can also be used for the quality control measurements.

Keywords: Trajectory Modeling, Robotic Measurement, Robotic Inspection

* Mustafa ÇAKIR, Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Böl.

** Cengiz DENİZ, Ford Otosan, Gölcük Fabrikası, Kaynak Alan Müdürlüğü, Akıllı Üretim Teknolojileri Yöneticisi

İletişim Yazarı: Mustafa ÇAKIR (mcakir@kocaeli.edu.tr)

1. GİRİŞ

İmalat süreçlerinde bazı ürünler kritik öneme sahiptirler. Çoğunun parçası oldukları bütünü verimli çalışması için hassas ölçülerde üretilmesi gerekir. Bazıları ise ya güvenlik ekipmanlarının ya da fonksiyonunu yitirdiğinde hayati tehlikelerin oluşabileceği donanımın parçasıdır. Bu tür malzemelerin hem imatları hem de montajları dikkatle takip edilmelidir. Taşıtlarda fren sisteminin alt bileşeni olan, en önemli güvenlik unsuru, fren hortumları tereddüde yer vermeyecek şekilde beklenen fonksiyonu yerine getirmelidirler. İmalat şartnameleri yerine getirilse dahi tereddütleri ortadan kaldırmanın en önemli ayağı çalışma şartlarında tüm ekipmanın test edilmesidir.

Araçlarda fren hortumları tekerlekleri yavaşlatmak veya durdurmak için gerekli basıncı uygulayacak fren balatalarına, hidrolik sıvıyı aktarmakla görevlidir. Yüksek basınca dayanabilecek ve uzun süreler çalışabilecek şekilde yapısal mukavemette imal edilirler. Araç gövdesi ile tekerlek ve süspansiyonun belirli noktalarına sabitlenerek monte edilirler. Otomotiv mühendisleri birliği, SAE (Society of Automotive Engineers) J1273 standardı statik pozisyonlar için fren hortumlarının temel bağlantı şekillerini önermektedir. Ancak taşıtlardaki fren hortumları şasi ile tekerlek arasındaki boşlukta karmaşık hareket yaparlar. Montaj bölgesindeki kısıtlı hacim bu hareket serbestliğini sınırlamaktadır. Yeni modeller geliştirildikçe fren hortumunun hareketi için ayrılan hacim gittikçe daralmaktadır. Dar hacim içinde çevre parçalara temas etmeden, aşırı gerilim, eğilme ve burkulmalara yol açmadan fren hortumu boyut ve montaj tasarımı imalatçıların önemli sorunlarından biri haline gelmiştir.

Matematiksel model kullanılarak sonlu elemanlar yöntemleri, FEM (Finite Element Method) ile fren hortumunun boyut ve montaj en iyilemesi Baaser (2007)'de konu edilmiştir. Benzer şekilde Cho ve Kim (2017), FEM ile analizler yapmışlardır. Onlar uzun süreli ve maliyetli olabilecek gerçekçi çalışma koşullarındaki testler yerine sayısal analizlerin daha kullanışlı olduğunu dile getirip hortumun yaşlanma sonucu deformasyonunu incelemişlerdir. Makalelerinin sonucunda montaj şekline göre hortumun kullanım ömürlerine ait değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Goebels ve diğ. (2007)'de yaptıkları çalışmada yalnız hortumun hareketleri sebebi ile oluşan zorlanmaları değil aynı zamanda mevcut montaj hacmi içindeki çarpmalardan kaynaklı etkileri değerlendirmiştir. Hortumun hangi noktalarının daha fazla yıpranmış olacağını sonuç olarak sunmuşlardır. Kwak ve Choi (2009), yayınında ise sayısal analizler kullanılmadan, gerçek çalışma koşullarından alınmış örnekler mikroskopik incelemeye tutulmuşlardır. Farklı çalışma süreleri için hortum üzerindeki kritik noktalardaki yıpranmalar incelenmiştir. Bu tür yıpranmalar ile sayısal yöntemlerin karşılaştırılmasına ait literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla beraber Thomas ve Keil (2011), çalışmasında temel bağlantı şekilleri için hortumların hem doğrusal hem de doğrusal olmayan matematik modellerini incelemiş, sonuçları gerçek yapı üzerinde karşılaştırmışlardır. Doğrusal olmayan geliştirdikleri modelin diğerlerine göre gerçek model ile karşılaştırıldığında daha yakın sonuç verdiğini sunmuşlardır. Keil ve Thomas (2013), çalışmalarında önerdikleri hortum yerleşimi modelini gerçek şasi kaliper bağlantısı üzerinde sunmuşlardır. Uyguladıkları modelleme ile gerçek durumu karşılaştırmışlardır. Sundukları grafiklerde her ne kadar model ve gerçek kurulum arasında kayda değer fark görülse de araştırmacılar SAE Standart J1927 (2009), de belirtilen tavsiyelere uyulduğunda hortumların en az zorlanmaya maruz kaldığını dile getirmişlerdir.

FEM tabanlı benzetimler hortum tasarım sürecini hızlandırmak amacıyla üreticiler tarafından kullanılmaya devam etse de doğruluk seviyesi oldukça düşüktür. Hortum yapısının karmaşıklığı nedeni ile modelinin çıkarılamamasının yanında çalışma şartlarının da benzetim ortamında tam yansıtılamaması bunun en önemli sebeplerindedir. FORD gibi bazı araç imalatçıları bu sebeplerle FEM ile yapılan yerleşim analizlerini yetersiz bularak gerçek fiziksel yerleşimde doğrulanmadan uygulanmasını kabul etmemektedir.

Araç üzerinde fren hortumunun yaptığı hareketlerin test istasyonlarında canlandırılması için ilk yapılması gereken uç nokta koordinatlarının tespitidir. Araç üreticileri bunları fren hortumu imalatçılarına CAD verileri olarak sunmaktadırlar. CAD verileri alındığı şekilde robot

programlarına uyumlu değildir. Sheng ve diğ. (2001) yayınlarında CAD verilerinin robotik uygulamalar aktarılmasındaki temel problemlere değinmişlerdir. Robotların erişim sınırları ve uygulamaların dayattığı yaklaşım açıları kısıtlarını göz önüne alarak tüm CAD yüzeyini parça parça işleyerek her bir parça için çözüm üretmenin verimli olabileceğini belirtmişlerdir. Chen ve Sheng (2011) ise var olan robot programları ile operatör bilgilerini de süreç içine katarak CAD ile sunulmuş modifikasyonların daha hızlı üretim sürecine alınabilmesini hedeflemişlerdir. Chicea ve diğ. (2015) yayınlarında sayısal çizimlerden yola çıkarak hat dışı sanal gerçeklik ortamında CAM (Computer Aided Manufacturing) uygulamasını tanıtmışlardır. KUKA endüstriyel robotları üzerinde yüzey işleme uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Robotlu CAM uygulamaları için geliştirilmiş hazır programları kullanmışlardır. Onların çalışmasına benzer şekilde Neto ve Mendes (2013), yayınında yaygın kullanılan CAD paketlerinden sağlanan verilerle hat dışı programlama yaklaşımı sunulmuştur. CAD'den robot programlarına aktarma sürecinin tam otomatik olmasının neredeyse mümkün olmadığını mutlaka ara adımlarda test edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Temel CAD ve robotik bilgisine sahip kullanıcılar için geliştirdikleri programı tanıtmışlardır. Araştırmacıların müstakil olarak geliştirdikleri hat dışı robot programlama yazılımları yanında robot imalatçıların sunduğu ticari programlarda günümüzde zenginleştirilmiştir. ABB Robot Studio gibi bu programlara herhangi bir formatta CAD çizimini aktarmak mümkündür. Holubek ve diğ. (2017), ABB Robot Studio yazılımında CAD verisinden faydalanılarak programlama sürecinin nasıl kolaylaştırılabileceğini konu edinmiştir.

Fren hortumunun hareketlerinin canlandırılmasının yanında pozisyon bilgilerinin ölçülerek sayısal modelinin çıkarılması sunulan bu yazıda en önemli bölümdür. Esnek ve hareketli parçaların ölçümü zordur. Üzerlerine herhangi bir mesafe, konum ölçüm cihazı yerleştirilemezler. Olası çözüm görsel kayıtlardan faydalanmaktır. Ardışık görüntüler olduğunda veya bilinen boyutlara sahip cisimlerin konumunu çözmek gerektiğinde Shen ve diğ. (2010) yayınında olduğu gibi söz konusu deformasyonlu nesnelere de olsa tek kamera sistemi ile pozisyon bilgisi elde edilebilir. Ancak bu yöntemde hassaslık ve hatta yöntemin yakınsama probleminden dolayı kesin çözüm üretmemeye sorunları mevcuttur. İşlem gücü gerektirmeden görece olarak hassas pozisyon bilgisi elde etmenin bir başka yolu optik tarayıcılar kullanmaktır. Larsson ve Kjellander (2006), Chang ve diğ. (2012) robotların taşıdığı lazer tarayıcılar ile konum bilgisi çıkartımına örnek iki yayındır. Bu çalışmalarda robotlar farklı bakış açılarından erişerek cisminin tümünü kapsayacak ölçümler almak için kullanılmıştır. Bu yaklaşımlarda temelde üç zorluk bulunur. Birincisi hassaslıktır. Farklı bakış açılarındaki yapılan ölçümlerin ortak referans üzerinde birleştirilmesi gerekir ki bu hassas robot ve algılayıcı kalibrasyonuna ihtiyaç duyar. Ayrıca robot pozisyonunu verecek düz kinematik hesapların yapılması gerekir. Kalibrasyon, kinematik hesaplamalar ve algılayıcı hatalarının birleşimi genel çözümde büyük farklılıklara neden olabilir. İkinci zorluk algılayıcının hareketli yapı üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. Robot konum bilgisine ihtiyaçtan dolayı ölçümün alındığı anda robot hareketsiz olmalıdır. Bu ayrıca algılayıcı zamanı nedeni ile de gerekliliktir. Üçüncü zorluk ise ölçüm noktalarının planlanmasıdır. Larsson ve Kjellander (2008), Reinhart ve Tekouo , (2009) çalışmalarında bu zorluğu aşmak için otomatik ölçüm yörüngesi çıkartımı konu edilmiştir. Bu yazıda konu edinilen problemde hareketli hortumun pozisyonunun ölçümleri gerekmektedir. Sayılan sıkıntılardan dolayı, sunulan bu yazıda ölçüm algılayıcısı olarak sabit ikili kameraların kullanılması kararlaştırılmıştır. Bodenhausen ve diğ. (2014) çalışmasında olduğu gibi robotlar yalnızca fren hortumunu hareketlerini canlandıracak, ikili kameralar ile görüntü kaydedilecek ve daha sonra konum bilgisi çıkartımı için işlenecektir.

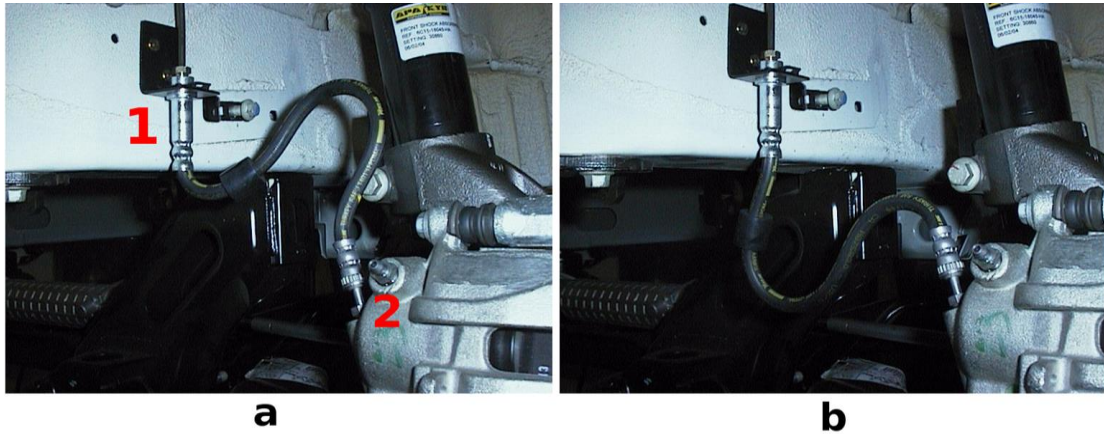
Bu çalışmada amaç, araca ait yol ve sürüş verilerinden hareketle, fren hortumunun monte edildiği gövde üzerindeki sabit nokta ile tekerlek üzerinde bulunan hareketli kaliper arasında servis şartları altında nasıl şekil değiştireceği ve yönleneceğinin belirlenebilmesidir. Araç üreticileri firmalarda genelde üretilen prototip üzerinde alınan ölçümlerin sonuçları bulunmaktadır. Prototip aracın yol koşulları altında şasi ve kaliperin hangi hareketleri yapacağı

kayıt edilmiştir. Dolayısı ile fren hortumunun monte edileceği her iki nokta da hareketlidir. Şasi o denli yüksek genliklerde hareket etmeyen bir nokta iken, tekerlek sağa, sola dönen, çukurlara girip çıkan, kötü yol şartlarından etkilenen, açısal olarak eğilip titreşen bir elemandır.

Şasiyi temsil eden bir robot kol, tekerleği temsil eden bir diğer robot kol vasıtası ile fren hortumunun iki ucunun hareketi izlenecektir. Aracın yol koşulları altında maruz kaldığı hareketlerin yaptırılması sureti ile fren hortumundaki yönlendirmelerin Tespiti hedeflenmektedir. Fren hortumunun monte edileceği boşluk içerisindeki sabit ve hareketli diğer parçalara çarpıp çarpmayacağı, temas ederse hangi noktaların temas edeceğinin belirlenmesi, hangi bölgelerde hortumda fazla deformasyon olduğunun ve boyunun ne kadar olması gerektiğine ilişkin en başarılı kestirimlerinin yapılmasına olanak veren robotik test istasyonunun kurulması çalışma sonunda tamamlanmıştır. 00718.STZ.2010-2 numaralı SANTEZ projesinde TEKLAS A.Ş. için geliştirilen test istasyonuna ait sunulan bu makalenin sonraki bölümünde problemin detaylı açıklaması yapılacaktır. 3. Bölümde test istasyonunun kurulum aşamaları ve hortum modelinin çıkartılması süreçleri konu edilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek gelecek çalışmalarda dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanmıştır.

2. Problemin Tanımı - Fren Hortumu Montajı

Fren hortumunun tekerlek ve şasi arasında kendisi için bırakılmış olan boşlukta güvenli bir pozisyonda yer alması ve yönlendirmesi gerekmektedir. Şekil 1'de TEKLAS A.Ş. ürünü bir fren hortumunun fabrikada montaj aşamasında çekilmiş 2 ayrı fotoğrafı görülmektedir. İlk başta Şekil 1.a'daki 1 ve 2 noktaları arasındaki mesafeler tam olarak bilinmediğinden tasarım işleminin başında belli bir fren hortumu uzunluğu da yoktur. Fren hortumu belli bir uzunluktan kısa olmamalıdır. Zira bu durumda 1 noktasına tutturulmuş olan fren hortumu, tekerleğin hareketi esnasında 2. noktadaki bağlantının olması gereken noktaya gidememesi anlamına gelecektir. Bu durumda kısa olan fren hortumu zorlanmalar neticesi hasarlanacaktır. Eğer üretici firma fren hortumunu gereğinden uzun seçerse de bu sefer yol şartları altında ortaya çıkan ivmelenmeler ve hareketin, basınç çevriminin yardımı ile sabit yada hareketli bazı noktalara temas edip hasarlanma ihtimalleri ortaya çıkabilir, diğer yandan gereksiz yere uzun yapıldığı için hortum fren hortumu üreticisinin kar marjının azalmasına neden olur.

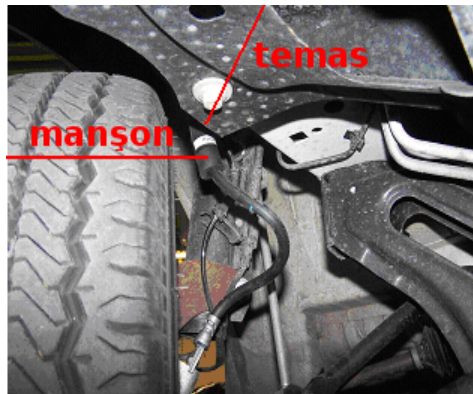


Şekil 1:
Fren hortumu montajı
a. b. iki olası yerleşim

Monte edilen fren hortumu görüldüğü gibi daha en başında farklı iki pozisyonda serbest halde durabilmektedir. Şekil 1'de fren hortumunun şasiden gelen noktaya ve kaliper üzerindeki bağlantısı net olarak görülmektedir. Bu henüz servis şartları altında olmayan, montaj sonrası elde edilen görüntüdür. Servis şartları ortaya çıktığında frenleme esnasında bu hortuma yüksek

basıncılı fren sıvısı gelecek, bu basınç fren hortumunun hacimsel olarak genişmesine ve şekil değiştirmesine neden olacaktır. Buna ek olarak tekerleğin sağa sola dönmesi, çukurlara girilmesi ve benzeri yol şartlarından dolayı özellikle 2. nokta sürekli hareket halinde olacaktır. Bu hareket fren hortumunun başlangıçta monte edildiği serbest duruş şeklinin değişmesine neden olacaktır. Hareket etmekte olan hortum bu esnada değişken ve yüksek ivmeli basınç değişimlerine maruz kalacaktır. Aynı zamanda kaliperden frenleme esnasında oluşan ısı, rakorlar üzerinden kauçuk esaslı fren hortumuna ulaşacaktır. Bu nedenle sıcaklık 160 derecelere kadar yükselebilecektir. Bu sıcaklık değeri gerek eyaflar gerekse kauçuk parça için oldukça yüksek değerlerdir ve malzeme mukavemetine etki etmektedir. Oda sıcaklığındaki malzeme yerine artık yüksek sıcaklıklardaki malzeme özellikleri geçerli olacaktır. Buna ek olarak dış ortam da çok değişken iklim şartlarına maruz kalabilmektedir. Yerde kar ve buzun olduğu soğuk ve nemli ortamlardan, çok sıcak ve kurak iklimlere kadar farklı yerlerde kullanım ve çevresel etkiler fren hortumunun yönleneğine etki edecektir.

Yukarıda bahsedilen nedenler, malzemenin kompozit olması, parametrelerdeki değişkenlikler gibi nedenler ile fren hortumunun kullanım şartları altında yönleneğinin bilgisayar ortamında modellenmesi zorlaşmaktadır. Literatür incelendiğinde fren hortumu benzeri yapıların çalışma şartları altında ne şekilde yönleneceklerine ilişkin modelleme çalışmalarının çok az sayıda olduğu görülmektedir. Oysa fren hortumunun çalışma şartlarında alacağı şekil ve nasıl yönleneceği çok hayati önem taşımaktadır. Örneğin Şekil 2 de görüldüğü gibi araç şasisine temas etmesi söz konusu olabilir. Gerek içerisindeki basıncın, gerekse tekerlek hareketleri nedeniyle bu temas yeri geldiğinde yüksek hızlı ve ivmeli olabilecektir. Bu durumda tekrar edecek olan bu temasın fren hortumunu zedelemesi kaçınılmazdır. Temas etmesi muhtemel noktaların tamamını korumak üzere bir manşon o temasın olduğu bölgeye yerleştirilir. Burada çok önemli bazı detaylar söz konusudur. Bunlardan birincisi fren hortumunda araç gövdesinin her hangi bir yeri ile temas etme ihtimali bulunan her noktanın mutlaka korunması gerektiğidir. Eğer gözden kaçan bir nokta olursa bu noktada gerçekleşen temas fren hortumunun hasar görmesine neden olacaktır. Bu da aracın fren emniyetinin ortadan kalkması ve insan hayatının tehlikeye girmesi anlamına gelecektir. Dolayısı ile manşonun tam olarak doğru yere, yeterli uzunlukta yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Diğer yandan temasın şiddeti, ve manşon malzemesi dikkate alınarak, manşon malzemesinin tipi ve kalınlığı uygun seçilmelidir. Aksi halde manşonun hasar görüp devre dışı kalması, ardından fren hortumunun hasarlanabilmesi olasıdır. Bu arada bu manşonun kullanılmasının fren hortumu üreticisi için ekstra bir maliyet olduğunun altı çizilmelidir.



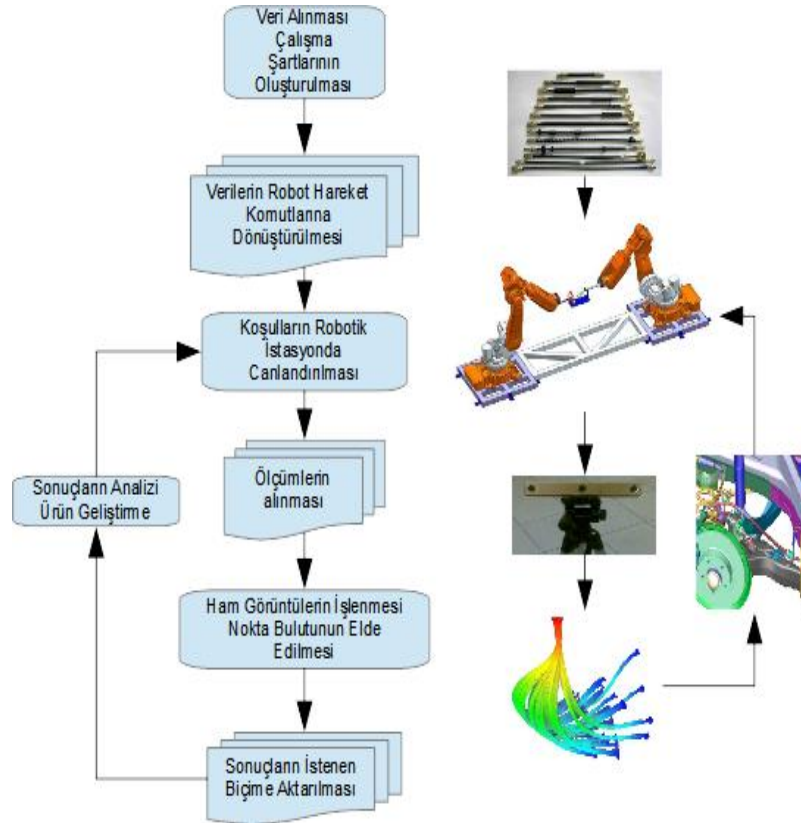
Şekil 2:
Fren hortumunun çalışma koşullarında duruşu

Fren hortumunun belli noktalara temas etmesi ve fazla hareket ederek kendini zedelemesine karşı üzerinde yay, braket ve manşon gibi çeşitli parçalar kullanarak hortumu güvence altına almak olasıdır. Manşonun kullanım yeri ve özellikleri yukarıda örneklendirilmiştir. Aynı şekilde

örneğin braketler fren hortumunu belli noktalarda sabitleyerek hareketlerini kısıtlamaya yarar. Bu sayede fren hortumu büyük genliklerde hareketlere ve dönmelere maruz kalmayıp, istenmeyen noktalara temas etme riskleri azalır. Aynı şekilde fazlaca eğilip bükülen fren hortumlarının dış kısmına helezonik yaylar sarmak sureti ile fren hortumunun olabildiğince doğrusal kalması, fazla eğilip bükülmemesi sağlanmaktadır. Bu güvenlik elemanlarının da yerlerinin tespit edilmesi, minimum sayı ve maliyet ile maksimum güvenliğin elde edilmesi de sağlıklı bir yol analizi ile mümkündür.

3. Fren Hortumu Yol Analizi

Benzetim programları ile çalışmak mühendislikte ürün geliştirme aşamasında kabul gören yöntemlerdendir. Gerçek dünyadaki bütün etkileri göz önüne alarak benzetim yapmak ise imkansızdır. Ayrıca benzetim çalışmasına giriş olacak nesnenin özelliklerinin yazılım ortamına aktarılması karmaşık bir süreçtir. Benzetim çalışmalarında FEM gibi yöntemlere başvurulabilir. Fakat modellenen hortum yapısının pek çok parametreye bağlı hareketi üzerinde sonuç oluşturmak otomotiv firmaları tarafından güvenilir bulunmadığı için kabul edilen bir yöntem değildir. Dolayısı ile bu şartlarda çözüm, benzetim yöntemleri kullanmak yerine gerçek koşullar oluşturularak farklı fiziksel büyüklüklerin ölçülmesidir. Bu çalışmada yol analizlerinin elde edilmesi için Şekil 3'de gösterilen akış takip edilmiştir.



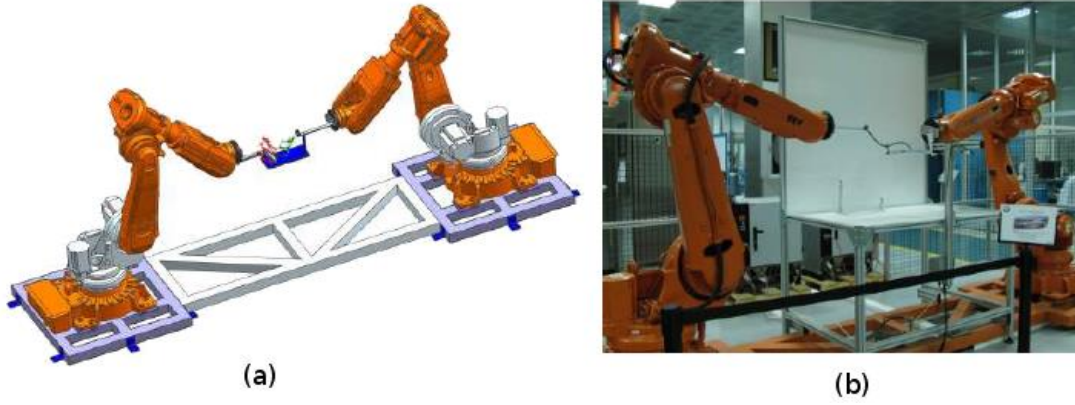
Şekil 3:

Fren Hortumu Yörünge Çıkartımı akışının blok şeması

3.1. Çalışma Şartlarının Oluşturulması

Gerçekçi koşulları yansıtan bir analiz için; montaj durumundan farklı olarak fren hortumu bağlantı noktalarının hareketini canlandıran bir test ortamı kurulmuştur. Bu istasyonda şasi ve

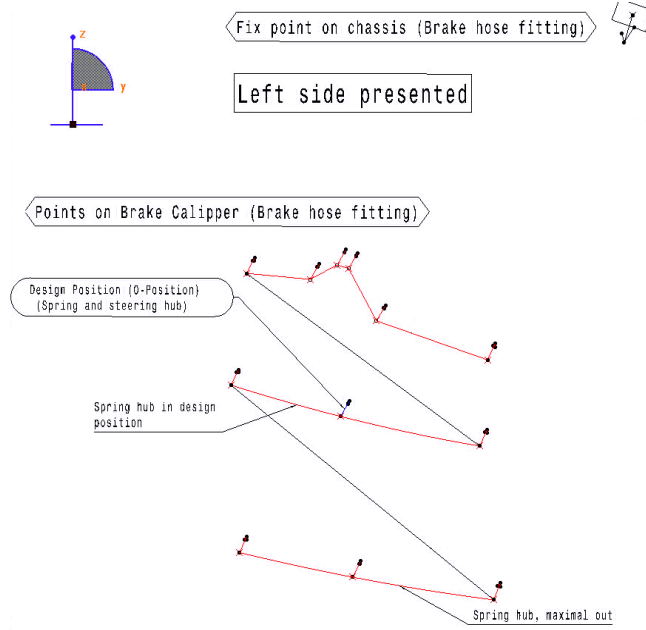
tekerlek bağlantı noktalarının yol şartları altındaki hareketinin canlandırılmasının yanında gerekirse maruz kalınacak basınç çevrimlerinin ve sıcaklığın yansıtılabilmesi de mümkündür. Şekil 4'de gösterilen bu istasyonda ABB 4600 serisi iki endüstriyel robot bulunmaktadır. Robotun bir tanesi yol koşullarında kaydedilen şasi bağlantı noktasının hareketlerini fren hortumunun bir ucuna uygularken, diğer robot kol ise tekerlek üzerindeki kaliper bağlantı noktasının yol koşullarında kaydedilen hareketlerini gerçekleştirmektedir. Robot kollar ile fren hortumu arasındaki bağlantı şeklinin uygun olması durumunda fren hortumunun maruz kalacağı basınç çevrimleri de uygulanabilecektir. Aynı şekilde maruz kalınacak sıcaklıkların uygulanması için sistemin iklimlendirilmiş bir kabin içerisinde çalıştırılması ile çevresel şartların da modellenmesi söz konusu olabilecektir.



Şekil 4:
Robotik test istasyonu;
a. RobCad tasarımı b. Kurulumun son hali

3.2. CAD Verilerinin Robot Hareket Komutlarına Dönüştürülmesi

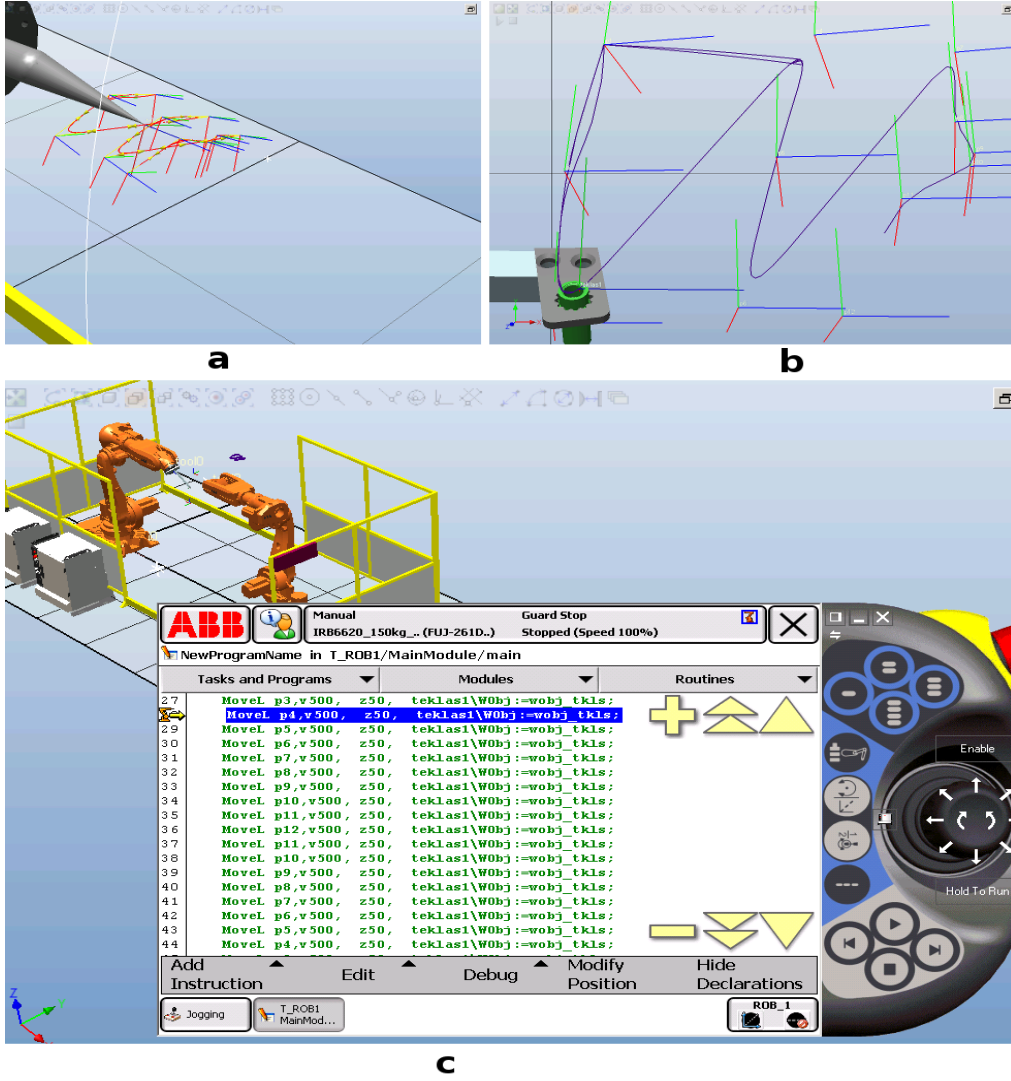
Otomotiv imalatçısı firmalardan fren hortumunun hareketlerine dair veriler alınmıştır. Şekil 5'de BMW'nin gönderdiği veriler sunulmuştur. Bu aşamada gönderilen veriler robotlar tarafından işlenecek formatta değildir. Robotlar tarafından işlenebilmesi için pozisyon bilgileri ABB robotlarına uyumlu RobTarget türünden değişkenlere aktarılmıştır.



Şekil 5:

BMW firmasından alınan Kaliper ve Şase konumları;

Gelmiş olan yol verileri firmalardan firmalara değişiklik gösterebilmektedir. Fransız firmaları başka altyapılar kullanırken, Alman ve İtalyan firmaları farklı altyapılar ve sistemler kullanabilmektedir. Bu nedenle firmaların robotlara aktarmak üzere verecekleri veriler farklı formatlarda olabilecektir. Bu çalışmada elde olan veriler CAD ortamında sahne referansı ile alınmış, direk robot koordinatlarına aktarılamayacak halde idi. Öncelikle ABB Robot Studio programı aracılığı ile bilinen sabit ucu tutan, şase hareketlerini yansıtan robotun başlangıç konumu referans kabul edilmiştir. Bu noktaya göre kartezyen koordinatta uç noktası pozisyonları elde edilmiştir. Firmanın gönderdiği veri setinde yalnız nokta koordinatları değil aynı zamanda yön vektörü de bulunmaktadır. Yön vektörünü kullanarak robot oryantasyonunu kontrol eden koterniyon türünden yönlenme bilgisi de çıkartılmıştır. ABB robot programlama dilinde RobTarget türündeki değişkene bu değerler yazılmıştır. Şekil 6.c'deki gibi Robot Studio programında ilk denemeler gerçekleştirilmiş ve Şekil 6.a ve Şekil 6.b'de sunulan yol izleri incelenerek firmanın gönderdiği yol çizimleri ile karşılaştırılmıştır.



C

Şekil 6:

CAD verilerinin ABB Robot programlama komutlarına dönüştürülmesi;
a. Robot yörüngesi b. BMW verisi ile karşılaştırma c. Robot Studio programında test

3.3. Koşulların Canlandırılması ve Ölçümlerin Alınması

Şekil 6'da gösterildiği gibi bilgisayar ortamında yapılan denemeler ile ilk testler yapılmıştır. Bu aşamada elde edilen program sahada kurulumu tamamlanan robotik istasyonda denenmiştir. Şekil 7'de bu çalışma sırasında alınan görüntü sunulmuştur. Bu aşamada daha sonra yapılacak görüntü işleme sürecinde kolaylık olması amacıyla istasyon arka planı ve ışıklandırması da düzenlenmiştir.

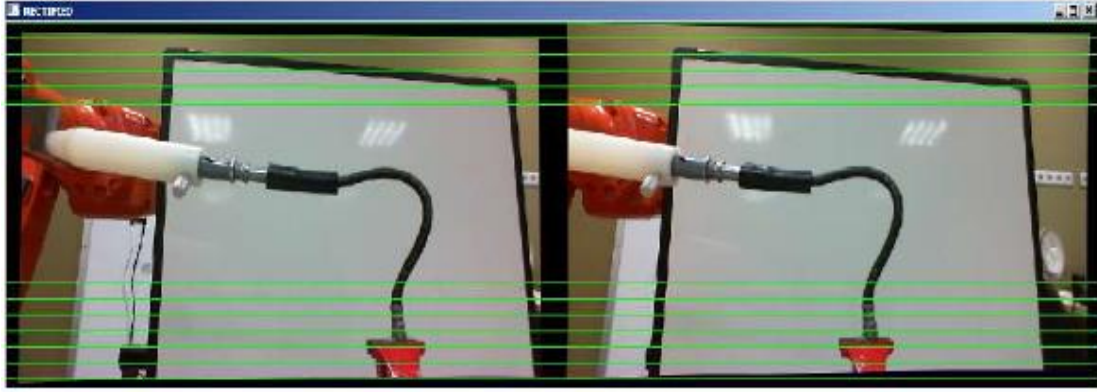


Şekil 7:

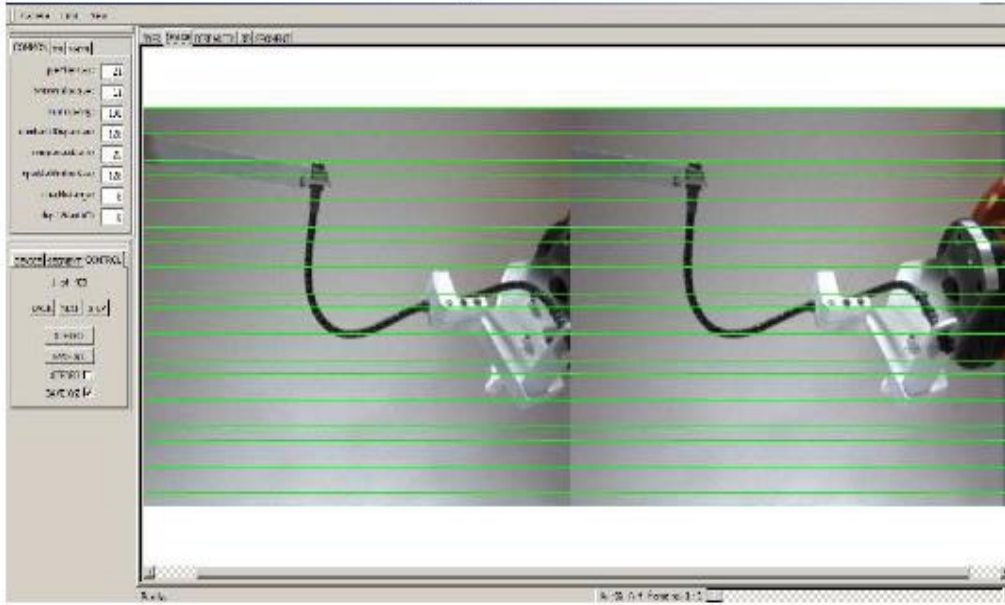
Fren hortumunun kaliper ve şase hareketlerini canlandırarak kayıt altına alınması

3.4. Ham Görüntülerin İşlenmesi ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi

Çalışmanın başlangıcında laboratuvar aşamasında ikili kamera sistemi ilk olarak standart webcam ile oluşturulmuştur. Şekil 8. a'da bu düzenekten alınan sahne gösterilmiştir. Ucuz bir yöntem olmasından dolayı tercih edilmesine karşın uygulamada problemlerle karşılaşmıştır. Kameraların tekil olarak kalibre edilmesi ve odak merkezi, uzaklığı gibi parametrelerle beraber mercek hatalarının giderilmesi için dairesel ve tanjant bozulma parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Ayrıca ikili konfigürasyon için taban hattı uzunluğunun ve görüntülerin hizalanması için kameralar arasındaki dönüş ilişkisinin tespiti gerekmektedir. Şekil 8. a ya dikkat edilirse bu değerlerin tespiti ile hizalanmış sağ ve sol görüntüdeki yeniden düzenleme fark edilebilir. Yapılan testlerde kalibrasyon ile hassas bir şekilde kamera parametrelerinin elde edilemediği görülmüştür. İkili kamera sisteminde eğer hareketli sahneden veri alınacaksa görüntünün iki kamera içinde aynı anda yakalanması gerekir. Usb bağlantı noktasına sahip bu düzenekte gecikmesiz aynı anda görüntü yakalanamayacağı için fabrika çıkışı kalibrasyonlu firewire bağlantısına sahip PTGrey firmasının Bumblebee XB3 ikili kamera sistemi çalışmada kullanılmıştır. Bu kamerayla alınan görüntü Şekil 8. b'de verilmiştir.



a



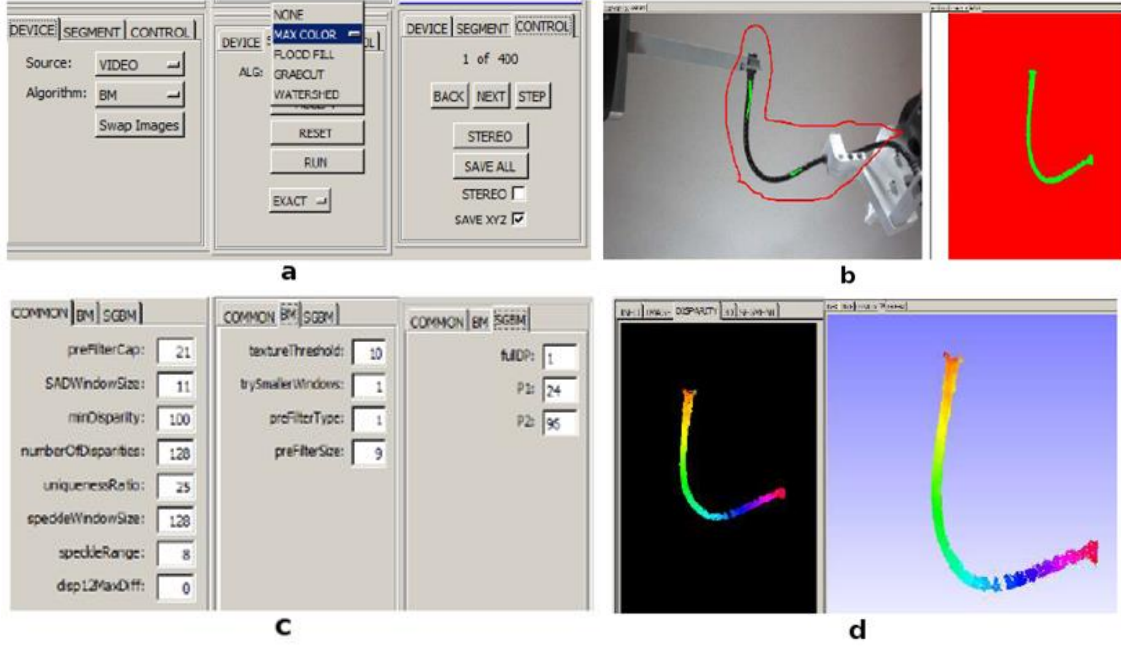
b

Şekil 8:

İkili video görüntülerinin işlenmesi;

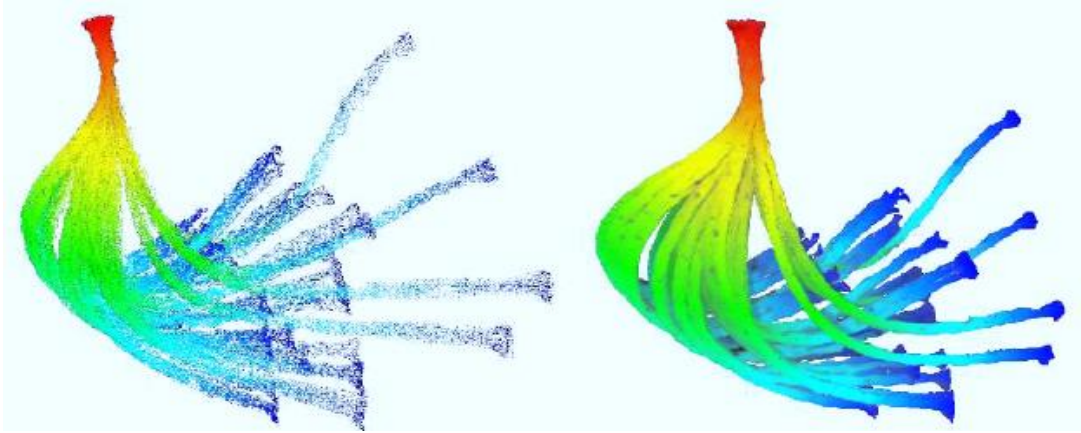
a. Standart USB Web Cam b. Bumblebee XB3 stereo kamera

Platform bağımsız, Linux işletim sisteminde de derlenebilen FOX kütüphanesi kullanılmıştır. Robotik test istasyonunda fren hortumu hareketi canlandırılırken hazırlanan program ile eş zamanlı yakalanan sağ ve sol kamera görüntülerinden video dosyası sonradan işlenmek üzere kayıt edilmiştir. İkili görüntülerden yoğun fark piksellerini tüm sahne için elde edip arka plan bilgisini sonradan süzmek yerine bu aşamada OpenCv kütüphanesinde faydalanılarak resim çerçevesi içinde ilgilenilen kısmın bölütlenmesi Şekil 9 a ve b de gösterilen etkileşim menüsü aracılığı ile hazırlanan programda yapılabilmektedir. Hazırlanan program ile OpenCv kütüphanesindeki BM (Block Matching) ve SGBM (Semi-Global Block Matching) fonksiyonlarını kullanarak 3D nokta bulutu oluşturmaktadır. Şekil 9 c'de verilen giriş noktalarını takip ederek bu işlevlerin parametreleri en uygun biçimde ayarlanabilir. Şekil 9 d'de gösterilen nokta bulutu daha sonra metin dosyalarına yazdırılmıştır.



Şekil 9:

*İlgilenilen (ROI) bölgenin çıkartılması, ikili görüntüden nokta bulutu çıkartımı;
a. bölütleme yöntem seçimi ve kontrol etkileşimi b. arka planın kaldırılması.
c. ikili işleme yöntem seçimi ve kontrol etkileşimi d. nokta bulutu çıkartımı.*



Şekil 10:

Nokta bulutunun MeshLab programı ile işlenip katı modelin oluşturulması.

Araç üreticisi firmalar fren hortumunun yönlenmesi ile ilgili verileri, tekerlek boşluğundaki hareket verileri ile eş zamanlı çalıştırarak her hangi bir yerde temas olup olmadığı ve risk bulunup bulunmadığını sorgulayacaklardır. Bu nedenle verilerin uygun formatta CAD dosyasına çevrilmeleri gerekmektedir. MeshLab programı ile video görüntülerinden, seçili çerçeveler için elde edilen nokta bulutu işlenip Şekil 10'da verilen birleşik görüntü elde edilmiştir. 3 boyutlu uzayda koordinatları bulunan fren hortumu üzerinde takip edilen noktalardan oluşan sonuçlar firmaların talep ettiği, genel kabul gören CAD biçimlerine bu aşamadan sonra kolaylıkla dönüştürülebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

00718.STZ.2010-2 numaralı SANTEZ projesinde TEKLAS A.Ş. ile geliştirilen fren hortumu yörünge analizi istasyonu bu çalışmada sunulmuştur. BMW firması için hareket halindeki olası fren hortumu pozisyonları çıkartılmıştır. Bu süreçte temel olarak iki işlev gerçekleştirilmiştir. İlk olarak CAD verileri ABB 6400 serisi endüstriyel robotların uygulayabileceği programa dönüştürülmüştür. İkinci süreçte ise hareket halindeki hortum görüntüleri ikili kamera ile kayıt edilip 3d örgü örüntüsü elde edilmiştir. Hazırlanan istasyonda, istenildiğinde gerek basınçlandırma yapılarak gerekse iklimlendirilerek tam kullanım şartlarında testler yapılabilir. Her ne kadar fren hortumunun bir noktası sabit olduğundan dolayı tek bir robot yeterli olsa da araçların gövdesinin de hareketini yansıtabilmek için iki robotlu istasyon kurgulanmıştır. Gövdenin oluşturacağı ivmeden dolayı hortum hareketinde olası değişikliklerde böylelikle takip edilebilir.

Benzer çalışmalara da ışık tutması açısından bu çalışmanın neticesinde şu öneriler yapılabilir. Standart imalat sürecinden alınan fren hortumu desenlendirilerek, denk nokta bulunma hassaslığı iyileştirilebilir. İkili görüntülerde sağ ve sol resimlerde denk noktaların daha hassas bulunması için istasyon özel olarak ışıklandırılabilir. Böylelikle aynı zamanda kamera pozlama süresi de kısaltılabileceği için görüntüler iyileştirilebilir. Hareketli ortamda bu işlem yapılacağı için kamera senkronizasyonu çok önemlidir. Görüntüler eş zamanlı yakalanmalıdır. Bu sebeple uygun kamera seçimi yapılmamıştır. Süreç içinde gerçek zamanlı olarak pozisyon bilgisi elde etmeye gerek olmadığı için video dosyalarının oluşturulması tercih edilmelidir. Bu sayede yüksek işlem gücü ve zaman gerektiren görüntü işleme algoritmaları kullanılabilir. Sonuçları nokta bulutlarından örgü yüzey oluşturarak sunmak yerine eğri uydurma yöntemleri ile matematiksel olarak elde edilmesi tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Baaser Herbert, (2007), Global optimization of length and macro-micro transition of fabric-reinforced elastomers with application to brake hose, *Computational Materials Science*, 39, 113-116. doi.org/10.1016/j.commsci.2006.02.023
2. Bodenhagen Leon, Fugl Andreas R., Jordt Andreas, Willatzen Morten, Andersen Knud A., Olsen Martin M., Koch Reinhard, Petersen Henrik G. ve Krüger Norbert, (2014) An Adaptable Robot Vision System Performing Manipulation Actions With Flexible Objects, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 11(3), 749-765. doi.org/10.1109/TASE.2014.2320157
3. Chang Wen-Chung, Nguyen Van-Truong ve Chu Ping-Rung, (2012), Reconstruction of 3D contour with an active laser-vision robotic system, *Asian Journal of Control*, 14(2), 400-412. doi.org/10.1002/asjc.361
4. Chen Heping, Sheng Weihua, (2011), Transformative CAD based industrial robot program generation, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27, 942-948. doi.org/10.1016/j.rcim.2011.03.006
5. Chicea Anca-Lucia, Breaz Radu-Eugen, Bologa Octavian, Racz Sever-Gabriel, (2015), *Applied Mechanics and Materials*, 762, 313-318. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.762.313
6. Cho Jin-Rae, Kim Young-Hyun, (2017), Numerical investigation of deformed layout and fatigue life of automotive braking hose to the helix angle of fabric braided layers, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(6), 2893-2900. doi.org/10.1007/s12206-017-0532-3
7. Goebbels G., Göbel M., Hambürger T., Hornung N., Klein U., Nikitin I., Rattay O., Scharping J., Troche K., Wienss C., (2007), Real-time dynamics simulation of cables, hoses

- and wiring harnesses for high accuracy digital mock-ups and load analysis, *Proceedings of Automotive Power Electronics*, Paris, 1-9
8. Holubek Radovan, Sobrino Daynier Rolando Delgado, Kostal Peter, Ruzarovsky Roman, (2017), Offline programming of an ABB robot using imported CAD models in the RobotStudio software environment, *Applied Mechanics and Materials*, 693, 62-67. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.693.62
 9. Keil Mitchel, Thomas Jai, (2013), A method for precise placement of hose models, *SAE International*. doi.org/10.4271/2013-01-0603
 10. Kwak Seung-Bum, Choi Nak-Sam, (2009), Micro-damage formation of a rubber hose assembly for automotive hydraulic brakes under a durability test, *Engineering Failure Analysis*, 16, 1262-1269. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.08.009
 11. Larsson Sören, Kjellander J. A. P., (2008), Path planning for laser scanning with an industrial robot, *Robotics and Autonomous Systems*, 56, 615-624. doi.org/10.1016/j.robot.2007.10.006
 12. Larsson Sören, Kjellander J. A. P., (2006), Motion control and data capturing for laser scanning with an industrial robot, *Robotics and Autonomous Systems*, 54, 453-460. doi.org/10.1016/j.robot.2006.02.002
 13. Neto Pedro, Mendes Nuno, (2013), Direct off-line robot programming via a cammon CAD package, *Robotics and Autonomous Systems*, 61, 896-910. doi.org/10.1016/j.robot.2013.02.005
 14. Reinhart G., Tekouo W., (2009), Automatic programming of robot-mounted 3D optical scanning devices to easily measure parts in high-variant assembly, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 58, 25-28. doi.org/10.1016/j.cirp.2009.03.125
 15. Shen Shuhan, Shi Wenhuan, Liu Yuncai, (2010), Monocular 3-D Tracking of Inextensible Deformable Surfaces under L2-Norm, *IEEE Transactions on Image Processing*, 19(2), 512-521. doi.org/10.1109/TIP.2009.2038115
 16. Sheng Weihua, Xi Ning, Song Mumin, Chen Yifan, (2001), Cad-guided robot motion planning, *Industrial Robot: An International Journal*, 28(2), 143-152. doi.org/10.1108/01439910110382738
 17. Thomas Jai, Keil Mitchel J., (2011), Validation of a non-linear mathematical model for predicting the shape of brake hoses in automotive applications, *Simulation Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 87(6), 538-551. doi.org/10.1177/00375497110364140
 18. SAE Standart J1927, (2009), Cumulative Analysis for Hydraulic Hose Assemblies, *SAE International Surface Vehicle Information Report*.
 19. SAE Standart J1273, (2004), Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies, *SAE International Surface Vehicle Recommended Practice*.