





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Traktörlerde Kullanılan Elektro-Hidrolik Kaldırıcılar İçin Tasarlanan Alternatif Bir Çeki Algılama Sistemi

 Gökay UYMAZ ^{a,*},  Bahar UYMAZ ^b

^a Hema Endüstri A.Ş., Çerkezköy, Tekirdağ, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gokayuyamaz@hattat.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.1180954

ÖZ

Traktör hidrolik kaldırıcılarının performansı, önemli ölçüde kaldırma kapasitesi ve çeki kontrol sisteminin hassasiyeti ile belirlenir. Konuyla ilgili uzun süredir devam eden uygulamalardan da anlaşılacağı gibi, mekanik-hidrolik çeki kontrol sistemlerinde çeki kuvvetini algılama sistemleri çok parçalı ve karmaşıktır. Elektro-hidrolik çeki kontrol sistemleri, nispeten basit olmakla birlikte, yük pimleri (load pin) ve elektronik kontrol üniteleri gibi pahalı ve özel elektronik parçalar içerir. Ayrıca yük piminin sisteme uygulanabilmesi için hidrolik kaldırıcı gövdesi ve reaksiyon mesnedi ayrı parçalar olarak tasarlanmalı ve yük pimleri ve diğer bazı bağlantı alt parçaları ile birleştirilmelidir. Özel elektronik bileşenler ve çok parçalı karmaşık bir tasarım, iyileştirilmesi gereken bir sorun olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, traktör hidrolik kaldırıcılarında kullanılan elektro-hidrolik çeki kontrol sistemlerindeki mevcut yük pimleri yerine, çeşitli traktörlere kolaylıkla adapte edilebilecek ve aynı işlevi fonksiyon kaybı olmadan sağlayabilecek alternatif bir tasarım önerilmiştir. Çok parçalı tasarım yerine kaldırıcı gövdesi ve reaksiyon mesnedinin tek parça halinde entegre edilen bu alternatif sistem tasarımı bir avantaj olarak sunulmaktadır. Çalışmada reaksiyon mesnedi üzerine yeni tasarım için uygulama yapılabilecek en uygun nokta sonlu elemanlar (FEA) analizi ile belirlenmiştir. Yeni tasarım, hidrolik kaldırıcı test düzeneğine uygulanmış ve işlevselliğini doğrulamak için deneysel olarak test edilmiştir. Sonuçlar, yeni tasarımın pratikliğini ve güvenilirliğini doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çeki kontrol, Yük pimi, Gerinim ölçer, Traktör hidrolik kaldırıcı

An Alternative Draft Sensing System Designed for Electro-Hydraulic Lifts Used on Tractors

ABSTRACT

The performance of tractor hydraulic lifters is largely determined by the lifting capacity and the precision of the draft sensing system. As can be understood from the long-standing applications on the subject, the draft sensing systems in mechanical-hydraulic draft sensing systems are multi-part and complex. Electro-hydraulic draft sensing systems, while relatively simple, contain expensive and specialized electronics such as load pins and electronic control units. In addition, in order for the load pin to be applied to the system, the hydraulic lifter body and the reaction support must be designed as separate parts and combined with the load pins and some other connecting sub-parts. Special electronic components and a complex multi-part design were identified as a problem to be improved. In this study, an alternative design that can be easily adapted to various tractors and provide the same function without loss of function has been proposed instead of the existing load pins in electro-hydraulic draft sensing systems used in tractor hydraulic lifters. This alternative system, in which the lifter body and reaction support are integrated in one piece instead of the multi-piece design, is presented as an advantage in the design. In

the study, the most suitable point to be applied for the new design on the reaction support was determined by finite element (FEA) analysis. The new design has been applied to the hydraulic lifter test rig and has been experimentally tested to verify its functionality. The results confirm the practicality and reliability of the new design.

Keywords: Draft sense, load-pin, Strain-gage, Tractor hydraulic lifter

I. GİRİŞ

Hidrolik kaldırıcıların tarım traktörlerinde kullanımının başlangıcı 1965 yılı olarak bilinmektedir, [1]. Tarım traktörlerinde kullanılan hidrolik kaldırıcıların fonksiyonları; kaldırma, indirme, taşıma, otomatik derinlik kontrolü, yüzer pozisyon ve pozisyon kontrolüdür. Son zamanlarda hem konforu hem de hassas kontrol olanaklarını arttırdığı için genelde traktör hidroliğine özelde de hidrolik kaldırıcılara elektronik eklentiler dahil edilmektedir. Traktör hidrolik kaldırıcının performansı, traktör hidrolik kaldırıcının kaldırma kapasitesi ve çeki kontrol (güç kontrol) sisteminin hassasiyeti ile belirlenir. Al-Kheer ve arkadaşları [2] toprak işleme kuvvetlerinin değişkenliğini çeşitli koşullar altında incelemiştir. Tarlada traktörle işlem yapılırken çok sert veya çok nemli gibi düzgün olmayan toprak koşulları veya taş, kök gibi çeşitli engellerle karşılaşılması olağan bir durumdur ve bu koşullar traktörün ekipmanı çekmek için yüksek güç kullanmasını gerektirir veya traktörün takılmasına sebep olur. Bu durumların meydana gelmesi çeki kontrol sistemi ile engellenmektedir. Çeki kontrol sistemi, ekipmanın sahada zorlandığını hisseder ve sahadan gelen kuvvet ortadan kalkana kadar kaldırma kollarının ekipmanı kaldırmasına izin verir. Tarladan gelen kuvvet ortadan kalkmaz kollar eski konumuna geri döner ve önceden ayarlanan toprak derinliğine iner. Çeki kontrol sistemi yoksa veya düzgün çalışmıyorsa motor zorlanır, tekerlekler patinaj yapar ve bağlı tüm mekanik parçalar yorulmaya maruz kalır. Bu, motor ve lastikler dahil tüm parçaların ömrünün azalmasına neden olur. Kısa vadede ise manuel müdahaleler nedeniyle operatör yorgunluğuna ve yakıt tüketiminde artışa sebep olur.

Çeki kontrol sistemi tasarımı, mekanik-hidrolik kaldırıcılarda ve elektro-hidrolik kaldırıcılarda prensipte aynı olmasına rağmen, çekme kuvvetini hissetmek için kullanılan yöntemler farklıdır. Mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik çeki kontrol sistemi tasarımı temel olarak iki şekilde yapılmaktadır; birinci tipte çeki kuvveti üç nokta askı sisteminin üst bağlantı noktasından (orta kol / üst bağlantı noktası) hissedilirken, ikinci tipte çeki kuvveti alt bağlantı noktasından (alt askı kolları) hissedilir. Mekanik-hidrolik kaldırıcılarda zeminden gelen çeki kuvveti, kuvvetin büyüklüğüne göre bir yayı veya benzeri bir mekanizmayı iter ve kontrol sürgüsü vasıtasıyla oransal olarak kontrol valfine iletir. Elektro-hidrolik kaldırıcılarda, zeminden gelen çeki kuvveti çoğunlukla mekanik-hidrolik kaldırıcı benzeri yaylı bir mekanizmanın hareketini ölçen bir sensör ya da yükleme pimi vasıtasıyla ve elektronik kontrol ünitesinde (EKÜ) hissedilir. EKÜ 'de değerlendirildikten sonra oransal solenoidler tarafından kontrol edilen kontrol valfine iletir. Yük pimi, mekanik çeki kontrol sistemlerine benzer şekilde üst bağlantı noktasına ya da alt bağlantı noktasına uygulanır. Yüksek beygir gücüne sahip traktörlerde alt askı kolu bağlantı noktası uygulamaları tercih edilir.

Lift [1], mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik kaldırıcıları traktör hidroliği ile birlikte incelemiş ve çalışma prensiplerini detaylı olarak açıklamıştır. Elektro-hidrolik kaldırıcı çekiş algılama sistemlerinde kullanılan yük pimlerinin mekanik-hidrolik uygulamalardan farklı olarak yük algılama noktasında harekete ihtiyaç duymadan çalışabildiğinden, yük pimi uygulamalarının mekanik-hidrolik kaldırıcı çeki algılama sistemlerinden daha hassas olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde Renius [3], traktör tasarımının temel ilkelerinden bahsederken mekanik-hidrolik ve elektro-hidrolik kaldırıcıları detaylı olarak karşılaştırmıştır.

John Deere [4] tarafından tasarlanan çeki algılama sisteminde, mekanik çeki algılama sisteminin hareketinin bir sensor yardımıyla elektrik sinyaline dönüştürülmesi ve çeki kontrol sisteminin bu sinyale göre hareket etmesi prensibi kullanılmıştır. Sensor (potansiyometre) ile sürekli açı ölçümü yapılarak hareket dairesel hale getirilir ve EKÜ'ye iletilir. Maliyet, bir yük algılama pimi kullanmaktan nispeten daha düşük olmasına rağmen, sistem hassasiyeti daha azdır. Ayrıca reaksiyon yayı da dahil olmak üzere mekanik sistemin tüm alt parçalarını içerir ve mekanik sistemin karmaşık yapısının dezavantajlarına sahiptir.

Schafer [5], US4271910 patent başvurusunu, John Deere tarafından elektro-hidrolik kaldırıclarda kullanım için tasarlanan alternatif bir yük algılama sistemi üzerine yaptı. Bu tasarımda alt kollara gelen kuvveti ölçen bir yapı ile üç noktalı askı sistemi oluşturulmuştur. Alt bağlantı kollarının çekilmesinden veya itilmesinden kaynaklanan kuvvet ile bir yay sıkıştırılır ve elde edilen dönme hareketi bir mekanizma ile mesafeyi ölçen lineer bir sensöre ileterek elektrik sinyaline dönüştürür. Elektrik sinyalini bir EKÜ aracılığıyla operatör tarafından önceden ayarlanan değerle sürekli karşılaştırarak ve gerektiğinde hidrolik sistemi devreye sokarak kaldırma ve indirme fonksiyonlarını bir silindir vasıtasıyla yönetir.

Sedoni ve Cevolini [6], New Holland firmasının yük pimi tasarımı üzerine EP0713637A1 patent başvurusunu yapmıştır. Bu patent, günümüzde elektro-hidrolik kaldırıcı için kullanılan yük pimlerinin uygulanmasının tipik bir örneğidir. Burn [7], Case firması adına US005682954A patent başvurusunu, yük piminin bağlı olduğu braketin tasarımında yapmıştır. Bu tasarımda, üç nokta askı sisteminin üst askı koluna (orta kol) gelen kuvveti ölçen bir yapı ile çeki algılama sistemi oluşturulmuştur. Üst bağlantı kolu, gerinim ölçer (strain-gage) uygulanmış bir yük pimi ile traktörün arkasındaki özel bir braketeye takılır. Yük piminin takılı olduğu braket, üst bağlantı koluna uygulanan kuvvet nedeniyle pimin biraz bükülmesine olanak tanır. Bu sayede pim içerisinde gerinim ölçere gelen kuvvetle orantılı bir elektrik sinyali oluşturur ve bu sinyal hidrolik kaldırma çeki kontrol sistemini kontrol etmek için kullanılır. Askari ve arkadaşları [8], üç nokta askı sistemine bağlı ekipmanların maruz kaldığı kuvvetleri ölçmek için ayarlanabilir bir dinamometre geliştirmiştir. Bu sistemde kuvvet sensörü olarak yük algılayıcı (load cell) kullanılmaktadır. New Holland 8210 traktör için elektronik çeki kontrol sistemi tasarlanırken, yük pimleri ile çeki algılaması yapılmıştır [9]. Tüm bunlara ek olarak, yük pimleri kullanmadan, basınç kontrol algoritması kullanarak çeki kontrolü gibi ilgili işlevleri gerçekleştiren çalışmalar da bulunmaktadır [10]. Ancak basınç sensörleri ve karmaşık yazılım algoritmalarının uygulanması gerekliliği nedeniyle bu çözüm de kolay uygulanabilir olmaktan uzaktır.

Yukarıda bahsedildiği gibi, yük pimleri, hem nispeten eski tasarımlarda hem de güncel tasarımlarda halen çeki algılama için kullanılmaya devam etmektedir [11]. Bu çalışmada, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcıların yük pimlerine alternatif olarak daha basit bir tasarım yapılarak aynı işlevin fonksiyon kaybı olmadan sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma sırasında reaksiyon braketine ve hidrolik kaldırıcı gövdesine uygulanan kuvvetlere karşı elektriksel gerinim ölçer uygulamaya uygun bölge, çeşitli senaryolarda FEA analizi ile incelenmiştir. Alternatif tasarım olarak inceleme sonucunda belirlenen lokasyonlara elektriksel gerinim ölçerler uygulanmıştır. Yükleme pimlerinden çok daha basit olan yeni tasarım karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Geçmişteki ve günümüzdeki çalışmalarda, hidrolik kaldırıcıların çeşitli kısımlarına gerinim ölçerler [12]-[13] veya yük hücresi [14] uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmanın ayırt edici yönü, hidrolik kaldırıcının uygun bir parçasının –burada reaksiyon braketini– uygun yerine bir gerinim ölçer uygulanarak kullanışlı bir sensöre dönüştürülmesidir. Uygun yer belirlenirken eksantrik çekişin etkisi de [15] dikkate alınmıştır. Bu çalışmaya benzer bir başka çalışmada da gerinim ölçer plakalı transdüser kullanılmıştır [16]. Çalışmada geliştirilen yöntemin uygulanabilmesi için yük pimi gibi ayrı bir dönüştürücü kullanılması gerekmektedir. Bu uygulamayı

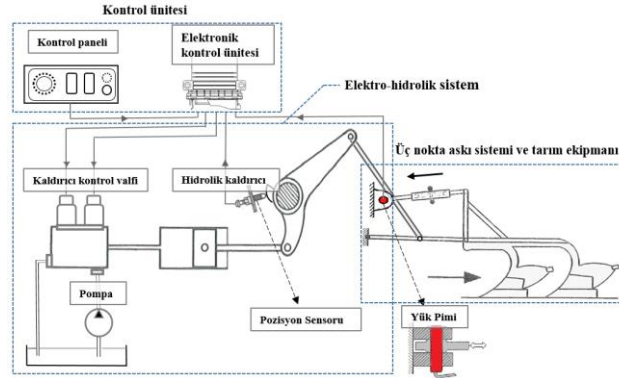
yapabilmek için hidrolik kaldırıcının transdüserine göre tasarlanması gerekecektir ki bu ekstra bir zorluktur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. ELEKTRO-HİDROLİK ÇEKİ KONTROL SİSTEMİNE ALTERNATİF OLARAK ÖNERİLEN YENİ TASARIM

Hidrolik kaldırıcıların traktörlerde iki ana işlevi vardır; (1) Çeki kontrolü: Toprak işleme sırasında hidrolik kaldırıcının, toprak işleme derinliğine bağlı olarak ekipmana gelen kuvveti algılamasını ve traktörün çekiş gücünü ekipman derinliğini değiştirerek muhafaza etmesini sağlayan özelliktir. (2) Konum kontrolü: Ekipmanı hidrolik kaldırıcının kaldırma aralığı içinde istenilen konuma getiren özelliktir. Elektro-hidrolik kaldırıcılarda çeki kontrolü; Çekme kuvveti çoğunlukla yüke duyarlı bir yük pimi veya mekanik-hidrolik kaldırıcılara benzer bir yay mekanizmasının hareketini ölçen bir sensör tarafından algılanır ve EKÜ’de elektrik sinyali olarak işlendikten sonra, oransal solenoidler tarafından kontrol edilen kontrol valfine iletilir.

Bu çalışmada önerilen tasarım, hidrolik kaldırıcının toprak işleme derinliğine bağlı olarak ekipmana gelen kuvveti algılama yöntemini içeren elektro-hidrolik kaldırıcılardaki çeki kontrol sisteminin alternatif bir tasarımıdır. Şekil 1’de verilen elektro-hidrolik kaldırıcının ana parçaları; yük pimi, oransal solenoidler tarafından kontrol edilen kontrol valfi, konum sensörü, reaksiyon mesnedi ve diğer mekanik alt parçalardır, ayrıca önerilen tasarım bu elektro-hidrolik kaldırıcı üzerinde açıklanmaktadır. Yeni tasarımın temel amacı, yükleme piminin tasarım kısıtlamalarını ortadan kaldırarak daha basit, daha pratik ve aynı zamanda uygun maliyetli bir çözüm sağlamaktır. Mevcut tasarımdaki yük piminin işlevi, yeni tasarımdaki gerinim ölçer tarafından gerçekleştirilecektir. Çalışmanın kapsamı, gerinim ölçer uygulamasının yapılacağı kritik parçanın belirlenmesi, kritik parça üzerinde en uygun alanın belirlenmesi ve yeni tasarımın geçerliliğinin doğrulanmasıdır.

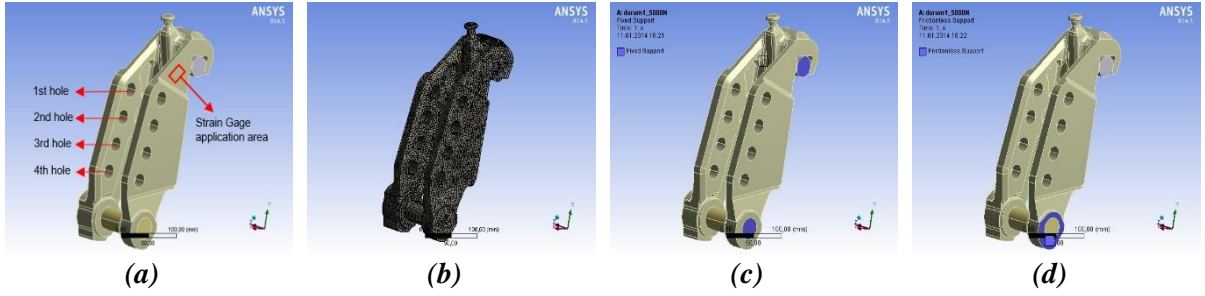


Şekil 1. Üst bağlantı noktasından çeki kuvvetini hisseden elektro-hidrolik kaldırıcının şematik diyagramı, kısmi olarak Lift [1]’den uyarlanmıştır).

B. GERİNİM ÖLÇER UYGULAMASININ YAPILACAĞI KRİTİK PARÇANIN VE KONUMUN BELİRLENMESİ

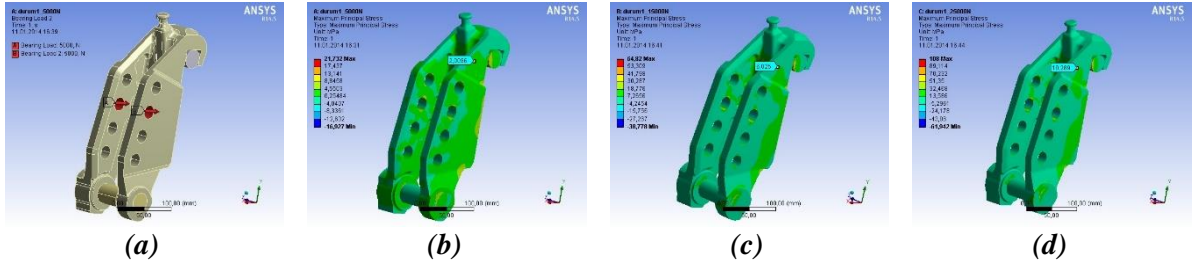
Reaksiyon mesnedi, arazide topraktan gelen çeki kuvvetlerine maruz kalan hem mekanik-hidrolik kaldırıcılarda hem de elektro-hidrolik kaldırıcılarda çeki algılama yönteminden bağımsız olarak çeki kontrol sisteminin en kritik parçasıdır. Bu nedenle yeni tasarımın uygulanacağı en kritik parça olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, çalışma sırasında yük pimi takılı olarak reaksiyon mesnedine gelen çeki kuvvetleri ve reaksiyon mesnedinin hidrolik kaldırıcı gövdesine bağlı olduğu halde iken çeki kuvvetlerine karşı tepkisi FEA analizi ile incelenmiştir. FEA ile analiz edilecek reaksiyon mesnedinin üç boyutlu (3D) modeli Şekil 2(a)'da, FEA ile oluşturulan reaksiyon mesnedinin ağ yapısı Şekil 2(b)'de verilmiştir. Analizlerde reaksiyon mesnedinin malzemesi GGG50-küresel grafitli dökme demir olarak tanımlanmıştır. Gerinim ölçer uygulamasına yapısal olarak en uygun bölge belirlenmiş ve reaksiyon mesnedindeki bağlantı deliği değiştirilerek uygulanan kuvvet değişiklikleriyle orantılı bir gerilme değişikliği olup olmadığı incelenmiştir. Kullanılan hidrolik kaldırıcıda reaksiyon mesnedini hidrolik kaldırıcı gövdesine bağlayan pimler sabitlendiğinden (Şekil 2(c)), analizlerde reaksiyon mesnedinin bağlı olduğu iki pim "Sabit Destek" olarak tanımlanmıştır. Bu pimler ile reaksiyon mesnedi arasındaki sürtünme ihmal edilmiş ve sürtünmesiz olarak tanımlanmıştır (Şekil 2(d)).

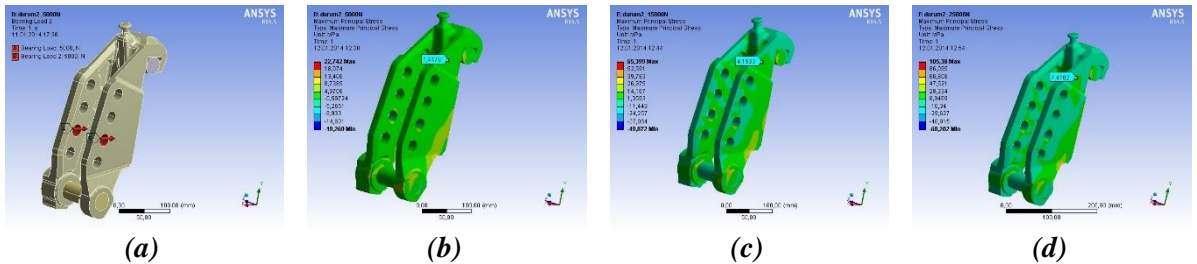


Şekil 2. Reaksiyon mesnedi FEA için (a) 3D model, (b) mesh yapısı, (c) sabit destek bağlantı pimleri, (d) alt bağlantı pimi sürtünmesiz bağlantı.

Analizlerde, çalışmada referans alınan yük piminin hissettiği en yüksek sıkıştırma kuvvetinin 25 kN olduğu göz önünde bulundurularak, x eksenine doğrultusunda reaksiyon mesnedindeki 2. ve 3. deliğe 5kN, 15 kN ve 25 kN'luk yükler uygulanmıştır (Şekil 3-4). Kuvvet uygulama noktasındaki bu değişiklik, gerinim ölçer uygulama noktasında oluşacak gerilmeleri nasıl etkileyeceğinin belirlenmesini sağlamıştır. Analizde tüm kuvvet yükleri yatak yükü olarak tanımlanmıştır. Daha önceki deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar da seçilen bu uygulama kuvvetlerinin uygun olduğunu doğrulamaktadır [17]-[18].



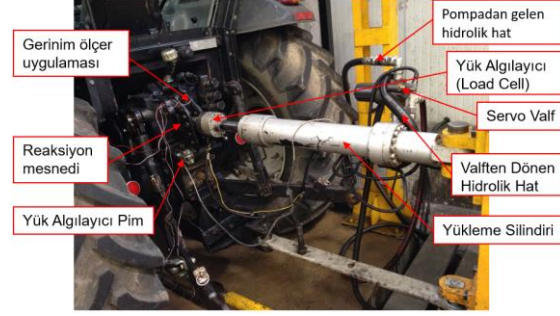
Şekil 3. Reaksiyon mesnedi (a) 2. delik kuvvet uygulama noktası ve 2. delik kuvvet uygulama noktasındaki gerilme analizleri (b) 5 kN, (c) 15 kN, (d) 25 kN.



Şekil 4. Reaksiyon mesnedi (a) 3. delik kuvvet uygulama noktası ve 3. delik kuvvet uygulama noktasındaki gerilme analizleri (b) 5 kN, (c) 15 kN, (d) 25 kN.

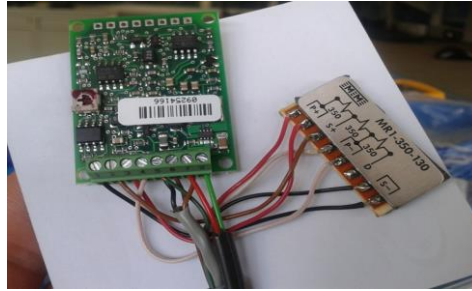
C. TEST DÜZENEGİ

Elektro-hidrolik kaldırıcı, alt bağlantı kollarının ucunda 4400 kg kaldırma kapasitesine sahiptir ve deneysel çalışmada Şekil 5'te verildiği gibi traktör yerine geçen bir fikstür üzerine monte edilmiştir. Çalışma sırasında reaksiyon mesnedine bağlı orta kola gelen çeki kuvveti maksimum 2500 kg'dır. Elektro-hidrolik kaldırıcı Valtra A serisi traktöre aittir ve üzerindeki mevcut yük piminin algılayabildiği en yüksek çekme kuvveti 25 kN'dir, [19].



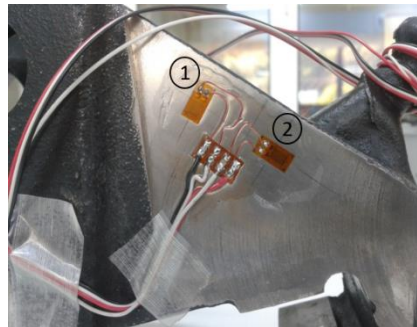
Şekil 5. Test düzeneği.

Bu çalışmada, kalibrasyon sabitinin sıcaklık ve zamanla değişmediği, birim uzamaların 1×10^{-6} mertebesinde ölçülebildiği, nokta ölçümlerinin yapılabildiği, dinamik ve statik ölçümlerin yapılabildiği elektriksel direnç gerinim ölçerleri kullanılmıştır. Böylelikle hassas lineer gerinim cevabı, pratik ve ekonomik olarak elde edilmiştir. Ölçümler yarım Wheatstone köprüsü elektrik devresi üzerinden yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Ölçümde kullanılan yardımcı elektrik devresi.

Ölçüm noktalarında dikdörtgen rozet tipi gerinim ölçer rozetler kullanılarak 45° ve 135° yönlerinde yerleştirilmiştir (Şekil 7). Ölçümler oda sıcaklığında yapılmış ve sıcaklığın etkisi ihmal edilmiştir. Dinamik yükleme koşulları altında gerinimin zamana bağlı değişimi gözlenmiştir. Burada silindirin sağladığı çeki kuvveti eksenine göre 1 numaralı gerinim ölçer 45° yönünde ve 2 numaralı gerinim ölçer 135° yönünde yerleştirilmiştir. Kullanılan gerinim ölçerlerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 7. Gerilme alanlarının ölçülmesi.

Tablo 1. Gerinim ölçer teknik özellikleri (Strain gage specifications).

Teknik özellik	Açıklama
Seri	CEA
Model	Universal genel kullanım gerinim ölçer
Gerinim toleransı	$\pm 5\%$
Sıcaklık aralığı	-100° to $+350^{\circ}\text{F}$ [-75° to $+175^{\circ}\text{C}$]

D. TEST YÖNTEMİ

Reaksiyon mesnedi üzerinde tespit edilen alana Şekil 7'de görüldüğü gibi gerinim ölçer rozetleri uygulanmıştır. Şekil 5'te görülen test düzeneğinde orta kol vasıtasıyla reaksiyon mesnedine etki eden maksimum çeki kuvveti 25 kN'dir. Şekil 5'te verilen test tezgahına bağlı elektro-hidrolik kaldırıcıya topraktan gelen kuvveti simüle eden silindirin uyguladığı çeki kuvveti, kuvvet dönüştürücü doğrusallığı ile ± 0.05 hassasiyetle ölçülmüştür. Sadece en yüksek çeki yükünün değil, farklı zemin koşullarında oluşabilecek tüm yüklerin test edilebilmesi için 0'dan maksimum yüke kadar zamana bağlı bir kuvvet uygulanması planlanmıştır. Test sisteminin rijitliğini sağlamak için yükleme silindiri tarafından uygulanan kuvvet 22 kN ile sınırlandırılmıştır. 0'dan 22 kN'e kadar olan çeki kuvvetine 15 saniyede ulaşılması hedeflenmiştir. Bu, ölçüm ekipmanının doğru verileri kaydedebileceği makul bir süredir.

E. VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

Şekil 5'te gösterilen test düzeneğinde silindir vasıtasıyla reaksiyon mesnedine uygulanan kuvvetlerin neden olduğu gerilmeler Şekil 8'de gösterilen bilgisayar tarafından $\pm 5\%$ doğrulukla kaydedilmiştir.



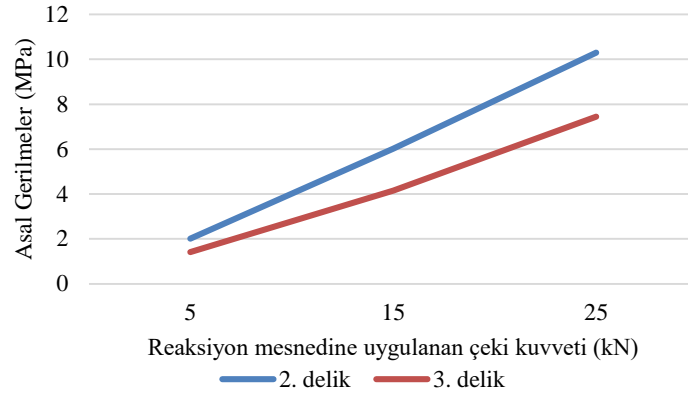
Şekil 8. Veri toplama sistemi.

F. KALİBRASYON VE YENİ TASARIMIN DOĞRULANMASI

Gerinim ölçer kuvveti, yük pimine göre kalibre edilmiştir. Ölçüm işlemi sırasında silindir kuvveti, gerinim ölçer ve yük pimi kuvveti aynı anda kaydedilmiştir. Silindir tarafından sağlanan aynı çekim kuvvetine karşı gerinim ölçer ve yük pimi kuvvetleri arasında bir korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır.

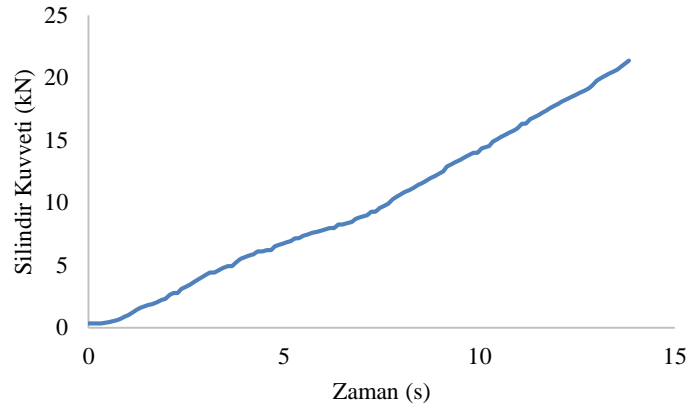
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

FEA analizinde topraktan geldiği kabul edilen çeki kuvvetinin reaksiyon mesnedinin 2. ve 3. deliklerine uygulanması ile gerinim ölçer uygulama noktasında oluşacak gerilmelerin nasıl etkilediği belirlenmiştir. Reaksiyon mesnedinin 2. ve 3. deliklerine sırasıyla 5 kN, 15 kN ve 25 kN'luk yüklerin uygulanması sonucu oluşan gerilme değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir. 2. delik yüklemesi esnasında oluşan gerilme değerleri beklendiği gibi daha büyüktür.



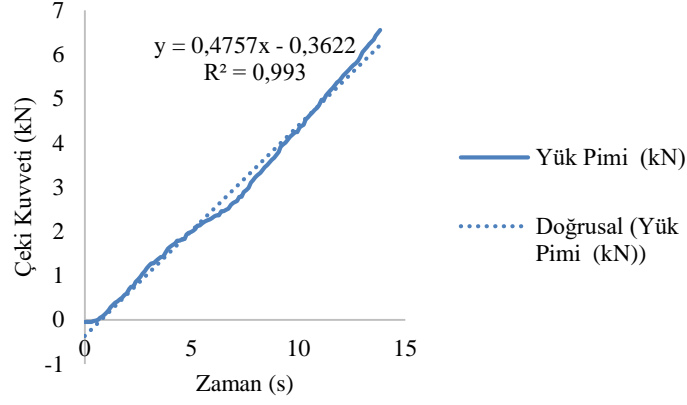
Şekil 9. 2. delikten yükleme değişikliklerine tepki olarak gerinim ölçer uygulama alanındaki stres değişiklikleri.

Şekil 5'te verilen deney düzeneğinde, topraktan gelen çeki kuvvetini simüle eden bir hidrolik silindir ile reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine zamana bağlı olarak artan yük uygulanmıştır. Gerinim ölçer üzerinden alınan veriler ve yük pimi üzerinden alınan veriler aynı anda kaydedilmiştir. Şekil 10'da, silindir tarafından reaksiyon mesnedinin 2. deliğine zamana bağlı olarak uygulanan ve yük hücresi tarafından ölçülen çeki kuvveti gösterilmektedir.

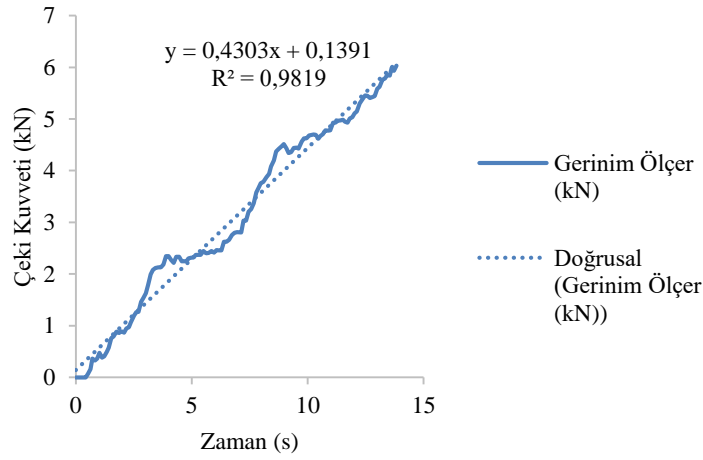


Şekil 10. Silindir tarafından reaksiyon mesnedinin 2. deliğine uygulanan çeki kuvveti.

Şekil 11'de reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine hidrolik silindir ile uygulanan çeki kuvvetine karşı yük pimi de oluşan kuvvetlerin ve Şekil 12'de reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine hidrolik silindir ile uygulanan çeki kuvvetine karşı gerinim ölçer de oluşan kuvvetlerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Burada $y = f(x)$, yük pimi tarafından algılanan çekme kuvvetinin eğri denklemini ve R^2 korelasyon katsayısını gösterir.

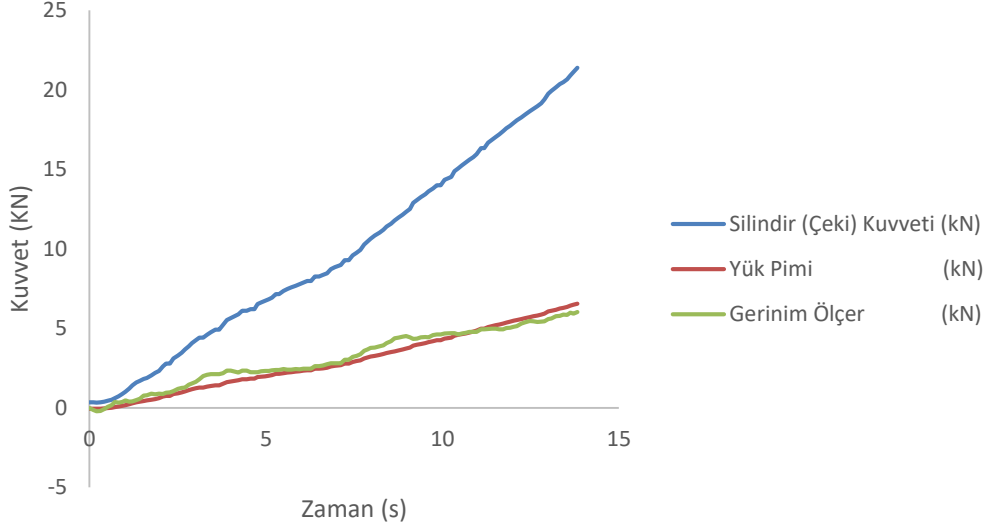


Şekil 11. Reaksiyon mesnedinin 2. delik bağlantısına uygulanan silindir kuvvetinin sağladığı çeki kuvvetinin etkisiyle yük pimi üzerinde oluşturulan kuvvet.

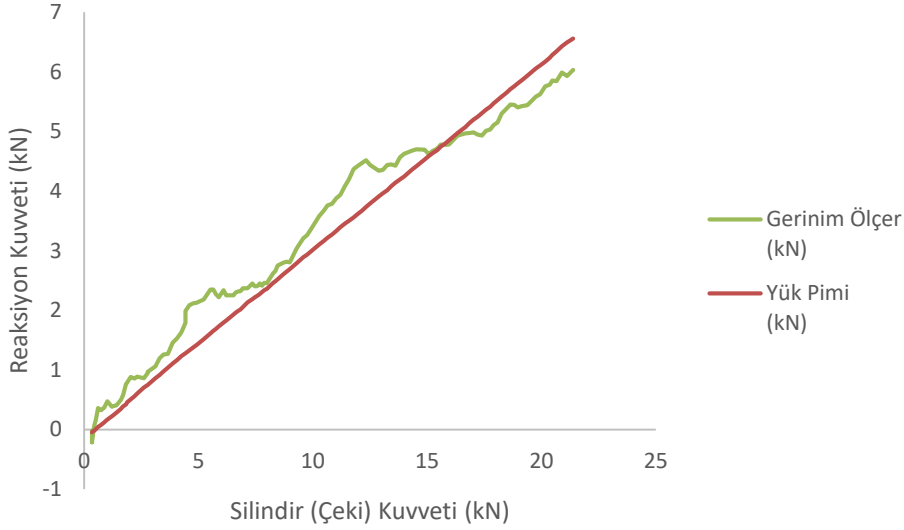


Şekil 12. Reaksiyon mesnedinin 2. deliğine uygulanan silindir tarafından sağlanan gerinim ölçer tarafından algılanan çeki kuvveti üzerinde oluşturulan kuvvet.

Gerinim ölçerden (Şekil 12) okunan kuvvet değerleri ile yük piminden (Şekil 11) okunan kuvvet değerleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır. 129 test verisi için korelasyon katsayısı 0.98655 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısı veri büyüklüğü ile birlikte değerlendirilmiş ve aralarında bir korelasyon olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, aynı sayıda veri için, yük pimi ve gerinim ölçer ile teker teker silindir kuvveti arasındaki ilişki araştırılmış; silindir kuvveti ile yük pimi arasında 0.99998 ve silindir kuvveti ile gerinim ölçer arasındaki 0.98655 korelasyon katsayıları hesaplanarak güçlü korelasyon doğrulanmıştır. Reaksiyon mesnedinin 2. bağlantı deliğine silindir tarafından uygulanan yük pimi ve gerinim ölçer tarafından algılanan çeki kuvvetlerinin karşılaştırması Şekil 13'de verilmiştir. Şekil 13'de zamana bağlı olarak verilen karşılaştırma, şekil 14'de uygulanan silindir (çeki) kuvvetine karşılık yük pimi ve gerinim ölçerden ölçülen kuvvet sonuçları olarak verilmiş, böylece yeni tasarlanan sistem ile yük piminin reaksiyon kuvveti ölçüm sonuçları doğrudan karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 13. Reaksiyon mesnedi ikinci deliğe silindirin sağladığı çeki kuvvetinin uygulanması ile gerinim ölçere gelen kuvvet ile yük pimi oluşmuş kuvvetin karşılaştırma grafiği.



Şekil 14. Reaksiyon mesnedi ikinci deliğe silindirin sağladığı çeki kuvvetinin uygulanması ile gerinim ölçer ve yük pimi oluşmuş reaksiyon kuvveti.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, traktörlerde kullanılan elektro-hidrolik kaldırıcılardaki yük pimi uygulamasına alternatif olarak, gerinim ölçer uygulaması ile fonksiyon kaybı olmaksızın daha basit bir tasarım yapılmıştır. İlk olarak, çalışma sırasında yükleme piminin monte edildiği reaksiyon mesnedine etkiyen çeki kuvvetleri ve reaksiyon mesnedinin bu kuvvetlere karşı davranışı incelenmiştir. Çalışmanın devamında alternatif tasarım olarak önerilen reaksiyon mesnedi üzerinde FEA analizi ile belirlenen uygun noktalara elektriksel gerinim ölçer uygulaması yapılmıştır.

Çalışma sırasında yükleme piminin monte edildiği reaksiyon mesnedine etkileyen çeki kuvvetleri ve reaksiyon mesnedinin bu kuvvetlere karşı davranışı FEA yazılımı ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda gerinim ölçer uygulaması için yapısal olarak en uygun bölgedeki gerilmelerin uygulama kuvvetine göre orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca kuvvetin uygulama noktası değiştirilerek gerinim ölçer uygulama noktasındaki gerilmelerin orantılı değiştiği doğrulanmıştır.

Gerinim ölçer uygulanmış olan yeni tasarım, test düzeneğinde test edilmiş ve sonuçlar incelenmiştir. FEA analizine benzer şekilde 2. delikten silindirin sağladığı çeki kuvveti uygulanarak gerinim ölçerden elektriksel değerler alınmıştır. Bu değerler yük pimine göre kalibre edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sistemin orijinal yük sensörü olan yük pimi ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut reaksiyon mesnedi üzerinde, uygulama kuvvetine lineer bir tepki verebilen sınırlı alanlar ve pratikte bir yapısal olarak gerinim ölçer uygulamasının yapılabileceği alanların sınırlı olması nedeniyle, uygulama alanı olarak düşük gerilmelerin meydana geldiği bir bölge seçilmek zorunda kalınmıştır. Bu durum, ölçüm doğruluğunu biraz azaltmıştır. Bu nedenle, gerinim ölçerden elde edilen kuvvet eğrisi, orijinal yük piminden elde edilen kuvvet eğrisine kıyasla bölgesel küçük sapmalara sahiptir. Ancak traktör üzerindeki çalışma koşulları için kabul edilebilir toleranslar içinde olduğu değerlendirilmiştir.

Yükleme pimlerinden çok daha basit olan ve tek parça entegre tasarım için uygun olan yeni tasarımın pratik olarak uygulanabilir ve fonksiyonel olarak kabul edilebilir olduğu doğrulanmıştır.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesine verdiği büyük destek için Hema Endüstri A.Ş.'ye teşekkür eder.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Lift, *Hydraulik in der Landtechnik*, Würzburg, Germany, 1992.
- [2] A. A. Al-Kheer et al., “Estimating the variability of tillage forces on a chisel plough shank by modeling the variability of tillage system parameters”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 78(1): 61-70, 2011.
- [3] K. Renius, *Traktoren, Technik und ihre Anwendung*, Münih, Germany, 1985.
- [4] *John Deere TM2198 Technical Service Catalog*, 1st ed., Deere & Company, Litho, USA, 2006, pp. 720
- [5] R. Schafer, “Draft sensing device including load pin with free end” U.S. Patent 4 271 910, Jul. 02, 1979.
- [6] C. Sedoni and A. Cevolini, “Draft force sensor apparatus” European Patent 0713637A1, Nov. 24, 1994.
- [7] S. Burn, “Upper hitch link electronic draft sensing” U.S. Patent 005682954A, Sept. 10, 1996
- [8] M. Askari et al., “A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements”, *Research in Agricultural Engineering* vol. 57, no. 4, pp. 128-136, 2011.
- [9] J. Macqueene et al., “Development of the electronic draft control system for the ford new holland 8210 tractor”, *SAE Transactions*, vol. 99, no. 2, pp. 327-339, 1990.

- [10] C. Liu et al., "Pressure control algorithm based on adaptive fuzzy PID with compensation correction for the tractor electronic hydraulic hitch", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 9, pp. 3179, 2020.
- [11] B. Bhondave et al., "Design and development of electro hydraulics hitch control for agricultural tractor", *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, vol. 10, no. 1, pp. 405-410, 2017.
- [12] P. Porteš et al., "Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels", *Soil&Tillage Research*, vol. 128, pp 81-90, 2013.
- [13] M. Askari et al., "The effect of new wings on subsoiler performance", *Applied Engineering in Agriculture*, 32(3): 353-362, 2016.
- [14] J. Čupera and T. Šmerda, "Influence of top link length of three-point hitch on performance parameters of ploughing set", *Research in Agricultural Engineering (Praha)*, vol. 56, no. 3. pp. 107-115, 2010.
- [15] M. Simikić et al., "Influence of eccentric drawbar force on power delivery efficiency of a wheeled tractor", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 36, no. 4, pp. 486-500, 2012.
- [16] J. Marcinkiewicz et al., "Methodology for determining six components of loads arising during the operation of tillage tools in soil using a strain gauge plate transducer", *Journal of Terramechanics*, vol. 95, pp. 59-72, 2021.
- [17] M. Tatiček et al., "The effect of setup of three point linkage on energetic and performance parameters of tractor aggregate", *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, vol. 59, no. 5, pp. 253-262, 2011.
- [18] F. Bauer et al., "Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing", *Soil & Tillage Research*, vol. 172, pp. 69-78, 2017.
- [19] K. Hoffmann, *Practical Hints for the Installation of Strain Gages*, HBM Publication, Germany, 2011.