



TARIM TRAKTÖRLERİNDE KULLANILAN ÖN YÜKLEYİCİNİN HİDROLİK SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

İdil İlke GÜLTEKİN YILDIZ
Samet Adem CÖMERT
Alper ŞAHİN
Gül ERKAL
Emir Murat KARAKOÇ
Y. Samim ÜNLÜSOY
Tuna BALKAN

ÖZET

Bu çalışmada, tarım traktörlerinde kullanılan bir ön yükleyicinin hidrolik tahrik sistemi Matlab/Simulink platformunda SimHydraulics modülü kullanılarak modellenmiştir. Model sistemin tüm hidrolik bileşenlerini içermektedir. Ön yükleyicinin mekanik kısmı SimMechanics modülü kullanılarak modellenildikten sonra, hidrolik ve mekanik alt sistemler birleştirilmiştir. Bu bildiride hidrolik sistemin, özel bir monoblok kontrol birimini de kapsayan, modelleme süreci anlatılmaktadır. Model hidrolik sistemin işleyişinin, sistem gereksinimlerinin, enerji kayıplarının ve tasarım hedeflerine ulaşmak için gerekli değişiklik ve eklerin simülasyonlarla incelenmesine olanak sağlamaktadır. Model kullanılarak, çeşitli ön yükleyici operasyonları görsel ve sayısal olarak incelenmiş ve her bileşenin davranışı ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Simülasyonlardan elde edilen sonuçlarla, traktör üzerinde yapılan ölçümler doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tarım Traktörleri, Modelleme, Yön Kontrol Valfleri, Ön Yükleyici, SimHydraulics, SimMechanics

ABSTRACT

In this study, a model of the hydraulic drive system, used to operate a front loader attachment (FLA) for agricultural tractors, is developed on Matlab/Simulink platform using SimHydraulics toolbox. The model includes all the hydraulic components of the system which are integrated with the mechanical part of the FLA model developed using SimMechanics. Here the modeling procedure of the hydraulic system, containing a nonconventional monoblock control unit, is described. The model allows the examination of the operation of the system, evaluation of system requirements, energy losses, and the necessary modifications to achieve the design goals through simulations. The complete model has been used in detailed investigations of the front loader operations visually as well as quantitatively, and system responses have been examined for each component of the whole system. Results from simulations using the model are justified by on tractor test measurements.

Keywords: Agricultural tractor, Modeling, Directional Control Valves, Front Loader, SimHydraulics, SimMechanics

1. GİRİŞ

Hidrolik sistemler genellikle tarım araçlarında ve tarım uygulamalarında, yüksek yükler söz konusu olduğunda kullanılır. Ön yükleyiciler bu tür uygulamalar için en güzel örneklerden biridir. Ön yükleyici sistemleri; hidrolik sistemi ve mekanik yapısı ile bu tür özel uygulamalar için uygundur. Tüm sistemin performansı, hidrolik ve mekanik iki alt sistem tarafından belirlenmektedir.

Genelde mekanik ve hidrolik sistemler ayrı ayrı tasarlansalar da bağlantı sağlanmadan önce bu iki alt sistemin birbirleri ile etkileşimleri incelenmelidir. Özellikle hidrolik sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesi; sistemin doğrusal olmayan davranışı ve bileşenlerin değişen parametrelerine olan hassasiyeti nedeni ile birçok zorluklara neden olmaktadır. Çoğu mevcut sistem, uzun deneme yanılma ve deneysel çalışmalar sonunda optimize edilmesi, değiştirilmesi ve geliştirilmesi zor özel tasarımlar haline dönüşmektedir.

Bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemeler sonucunda birçok hidrolik uygulama yazılımlarını geliştirilmiştir [1-4]. Bu yazılımlar ile sistemlerin tasarım gereksinimlerine uyumunu sağlamak için; hidrolik bileşenlerin modellenmesi, analiz- simülasyon ve optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır [5-8]. Ayrıca prototip aşamasında, sistemde bir revizyon gereksinimi doğar ise, yine aynı model üzerinden olası tasarım değişikliklerini incelemek mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada, tarım traktörleri için geliştirilmesi öngörülen bir ön yükleyicinin hidrolik ve mekanik alt sistemlerini içeren modeller geliştirilmiştir. Daha sonra ön yükleyicinin performansını ve genel davranışını inceleyebilmek için hidrolik ve mekanik alt sistemler birleştirilerek hidro-mekanik sistem modeli elde edilmiştir.

Hidrolik sistem bileşenleri içinde tek bloklu özel bir valf birimi sistemin kalbi olarak belirlenmiştir. Bu birim, iki adet birbirlerine paralel bağlı dört yollu yön kontrol valfinden oluşmaktadır ve ön yükleyici mekanizmasını kontrol etmekte kullanılmaktadır [9]. Orta bağlantı valfi (Mid Mount Valve) olarak adlandırılan birim, hidrolik uygulama yazılımlarının hazır eleman kütüphanelerinde yer almamaktadır. Bu nedenle söz konusu birimin içerdiği valfler için özel modeller geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan modeller ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Ancak, yapılan çalışmanın temelini oluşturan ön yükleyicinin fonksiyonlarının tüm ayrıntıları ile anlaşılması için gerekli bilgiler verilecektir.

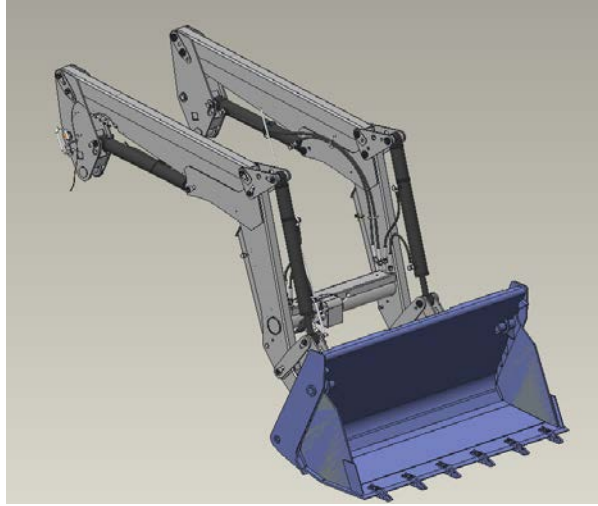
2. ÖN YÜKLEYİCİ

Şekil 1'de gösterilen ön yükleyicili tarım traktörleri, toprağı kazmanın yanı sıra, yükleme ve tesviye gibi çeşitli operasyonlarda da çiftçilere yardımcı olmaktadır.

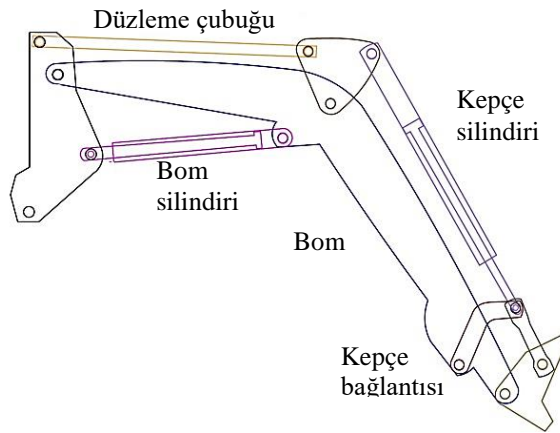


Şekil 1. Ön Yükleyicili Tarım Traktörü

Ön yükleyici, şekil-2'de gösterilen bom, bom silindiri, kepçe, kepçe silindiri, düzleme çubuğu, bağlantı pimleri ve hidrolik bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Ön yükleyicinin kinematik yapısı şekil-3'te gösterilmektedir. Geleneksel ön yükleyiciler, kepçenin yükseltilip alçaltıldığı ve yükün yüklenip boşaltıldığı iki serbestlik derecesine sahip olan mekanizmalardır. Ek olarak, bazı mekanizmalar, operatörün tek bir kontrol kolu kullanarak kepçeyi, yere göre paralellliğini bozmadan, kaldırıp indirmesini sağlayan hidrolik düzleme özelliğine sahiptir.



Şekil 2. Ön Yükleyicinin Katı Modeli



Şekil 3. Ön Yükleyicinin Kinematik Yapısı

Ön yükleyici montaj kompleksi, traktörden çıkarılabilen ya da kalıcı olarak bağlanabilen bir bütündür. Aynı zamanda, ön yükleyiciye kepçe yerine başka ekipmanlar da takılabilmektedir.

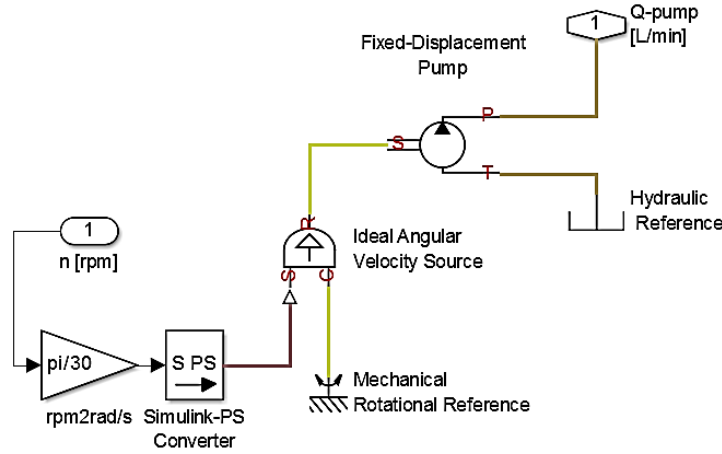
3. HİDROLİK SİSTEM MODELİ

Hidrolik sistem için model geliştirirken, Matlab/ Simulink platformunda SimHydraulics modülü kullanılmıştır [3]. Ön yükleyicinin mekanik parçalarının geliştirilmesinde ise Matlab/Simulink platformunda SimMechanics modülü kullanılmıştır.

Takip eden bölümlerde, ön yükleyici hidrolik sistem modelinin oluşturulması ayrıntılı olarak sunulmuştur.

3.1. Motor ve Pompa Modelleri

Sistemin başlangıç noktası motor ve pompadır. Şekil 4 'te gösterildiği gibi, motor SimHydraulics kütüphanesinde bulunan ideal açısal hız kaynağı, sabit deplasmanlı pompa bloğu kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 4. Motor ve Pompa SimHydraulics Modelleri

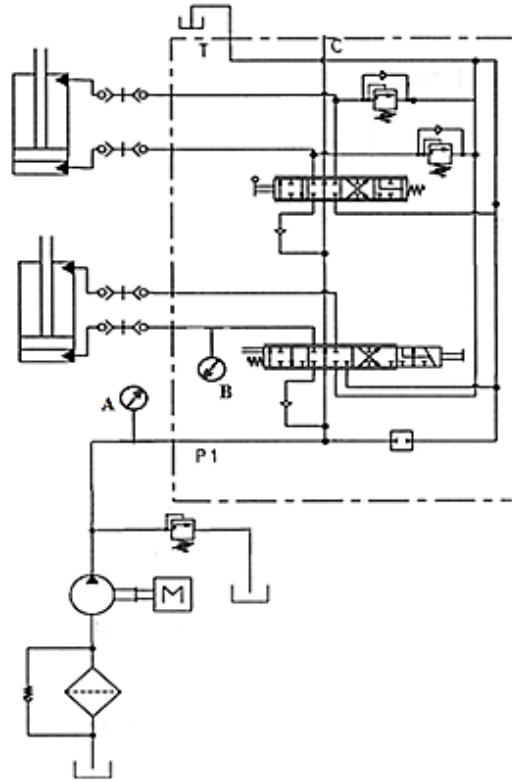
3.2 Orta Bağlantı Birimi Modeli

Şekil 5'te görüldüğü gibi, ön yükleyici uygulamasında ana kontrol elemanı 7/4 ve 6/4 yön kontrol valflerini, basınç kontrol valfini, anti-şok valfini ve çek valfleri tek bir gövdede toplayan bir orta bağlantı birimidir. Bu iki yön kontrol valfinin nötr konumları birbirine seri olarak bağlıdır. Bu duruma göre, eğer orta bağlantı birimi nötr konumunda ise, pompadan gelen akış, bu ünitenin içinden tanka gitmektedir.

Orta bağlantı birimi nötr konumuna ek olarak 6 farklı fonksiyonu sağlamaktadır.

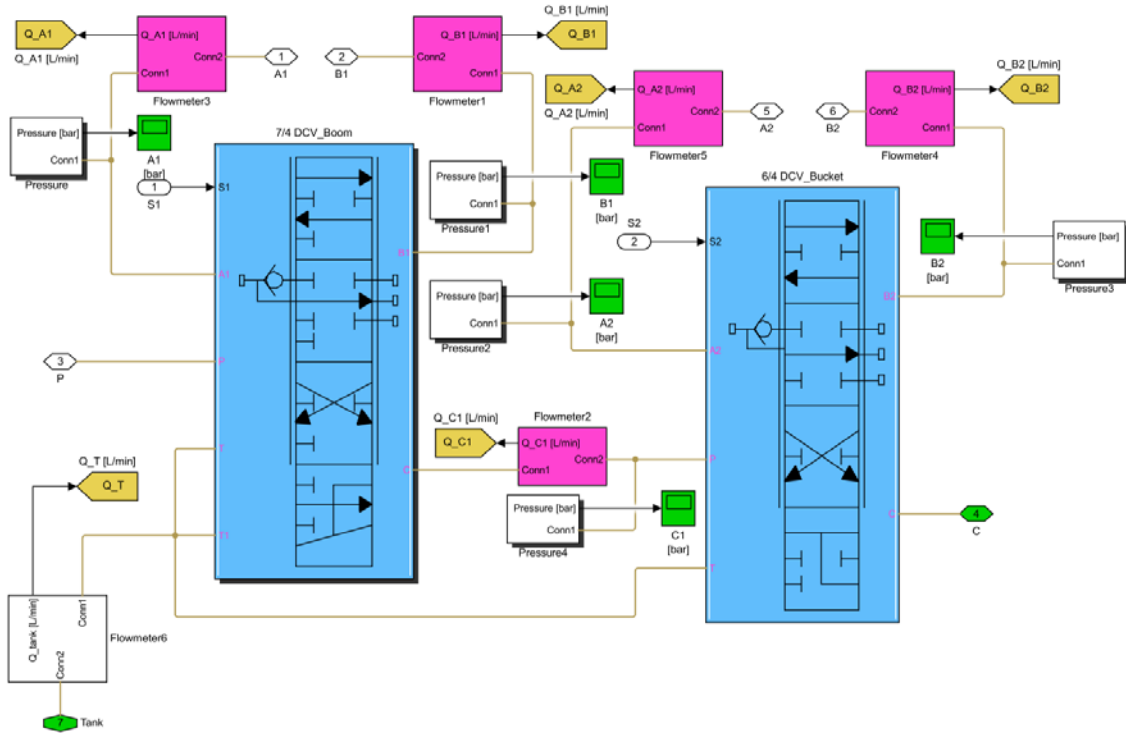
- Her iki yön kontrol valfi, olağan nötr konum 1 durumunda, bom ve kepçe silindirleri geri çekilmiş durumdadır.
- Yön kontrol valfi 1, 2. konumunda bom silindirini iter.
- Yön kontrol valfi 1, 3. konumunda bom silindirini geri çeker.
- Yön kontrol valfi 1, 4. konumu, bomu yüzdürme konumudur.
- Yön kontrol valfi 2, 2. konumunda kepçe silindirini iter.
- Yön kontrol valfi 2, 3. konumunda kepçe silindirini geri çeker.
- Yön kontrol valfi 2, 4. konumunda (rejeneratif konum) kepçenin hızlı hareketini sağlar.

Sert bir yüzeyde çalışılması durumunda, yüzdürme fonksiyonu ön yükleyicinin sadece kendi ağırlığıyla yeri takip etmesini sağlar.



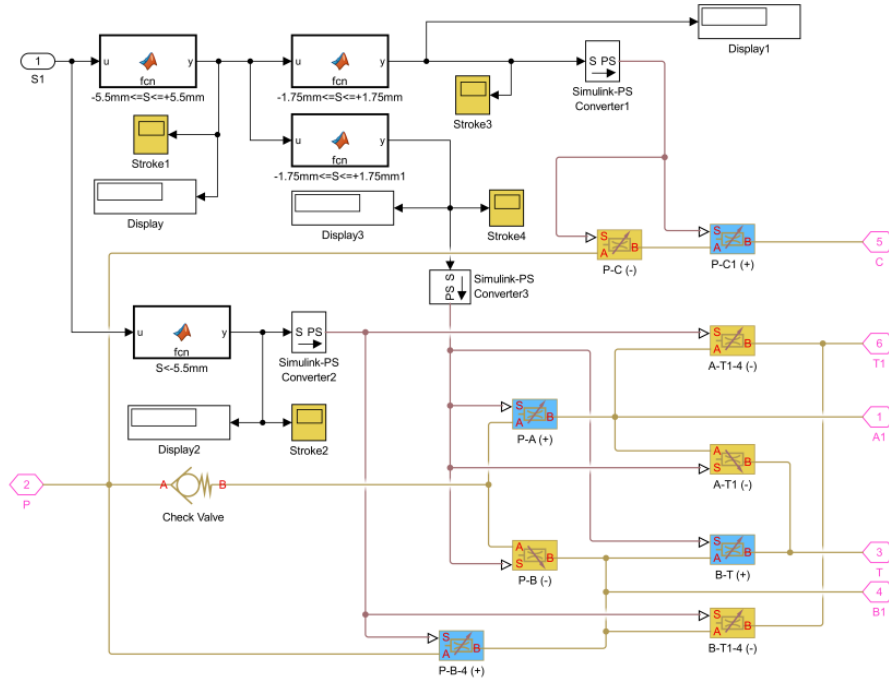
Şekil 5. Orta Bağlantı Biriminin Hidrolik Devre Şeması

Rejeneratif konumunda, tüm kepçe silindirleri basınç hattına bağlanarak, kepçe silindirinin yüksek hızda hareketini sağlar. Bu fonksiyonla kepçe yükünün hızlıca dökülmesi ve sallanarak kalıntıların temizlenmesi sağlanır. Şekil 6'da görüldüğü üzere, orta bağlantı biriminin SimHydraulics modelinde, basınç ve debi ölçümü sağlayan bloklar kullanarak, simülasyon boyunca farklı noktadaki tepkileri izlenmiştir.



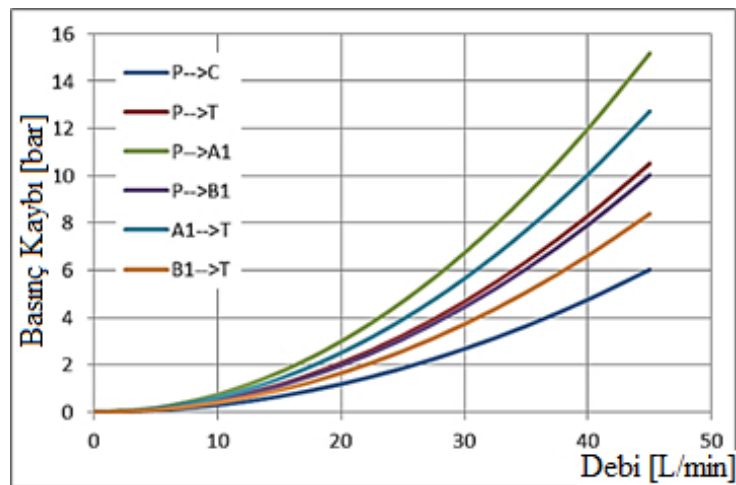
Şekil 6. Orta Bağlantı Biriminin SimHydraulics Modeli

SimHydraulics kütüphanesinde, bu çalışmada gereken özel yön kontrol valfleri için hazır valf blokları bulunmamaktadır. Bu nedenle, her iki yön kontrol valfi için de yeni modeller oluşturulmuştur. Bomun kontrol edilmesi için geliştirilen yön kontrol valfi Şekil 7'de gösterilmiştir. Yön kontrol valf modeli, değişken orifis bloklarının, aktivasyon sırasının seçilebilmesini sağlayan özel Matlab fonksiyonlarıyla bağlanmasından oluşmuştur. Valf modelinin geliştirilmesinde, orifislerin başlangıç açıklıkları ve başlangıç yönlerinin ayarlanması en önemli ve kritik adımdır.



Şekil 7. Orta Bağlantı Biriminin İçinde Bulunan Yön Kontrol Valfinin SimHydraulics Modeli

Valf modellerini oluştururken ortaya çıkan en önemli zorluklardan bir tanesi de farklı sürgü konumlarında valf davranışını gösteren gerçekçi verilerin toplanmasıdır. Gerekli bilgiler üretici kataloğundan elde edilebilir. Şekil 8'de gösterildiği gibi valf karakteristik eğrileri kullanılarak, gerekli veriler elde edilip SimHydraulics kütüphanesindeki bloklara girilir. Bazı boyutsal veriler ise ölçümler sonucunda elde edilmiştir.

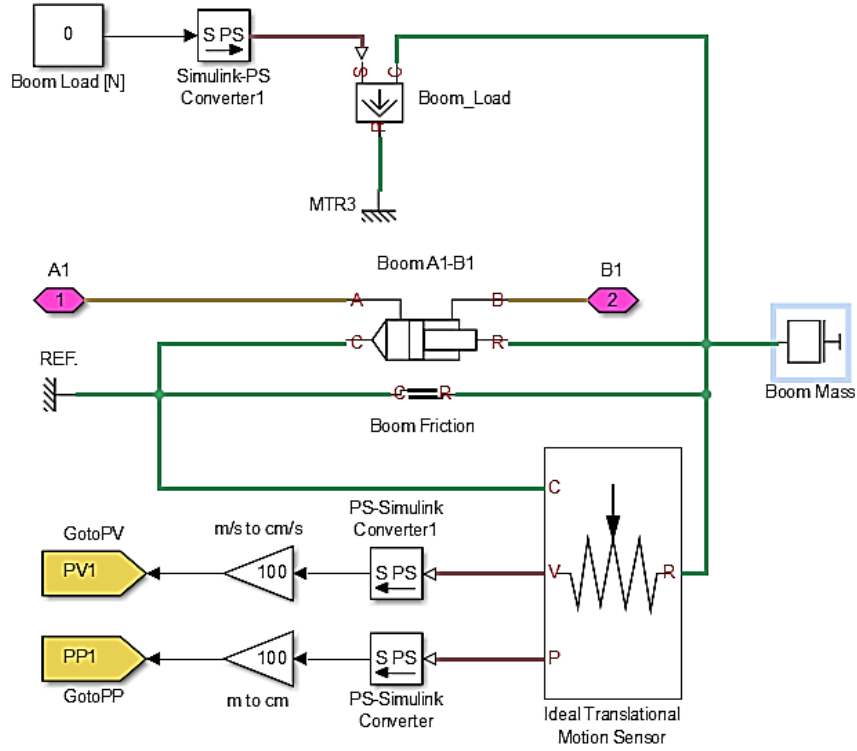


Şekil 8. Tipik Valf Karakteristikleri

3.3. Silindir Modelleri

Bom ve kepçe hareketini sağlayan çift etkili hidrolik silindir blokları SimHydraulics kütüphanesinden seçilmiştir. Bloklar için gereken alan ve kurs ile ilgili bilgiler blok tablolarına girilmiştir.

Piston konumu ve hızını gözlemlemek için ilgili algılayıcıların da eklendiği bir silindir modeli Şekil-9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Çift Etkili Hidrolik Silindir Modeli

3.4. Modelde Kullanılan Diğer Bileşenler:

Simülasyon modelini tamamlamak için kullanılan diğer bileşenler; tank, borular, kullanılan yağın özellikleri, basınç emniyet valfi, çek valf ve hidrolik bağlantı parçalarıdır. SimHydraulics kütüphanesinde bu elemanların hazır blokları mevcuttur ve modelde kullanılmıştır. Bu nedenle, söz konusu elemanlarla ilgili ayrıntılar burada verilmemiştir.

4. TÜM SİSTEM MODELİ

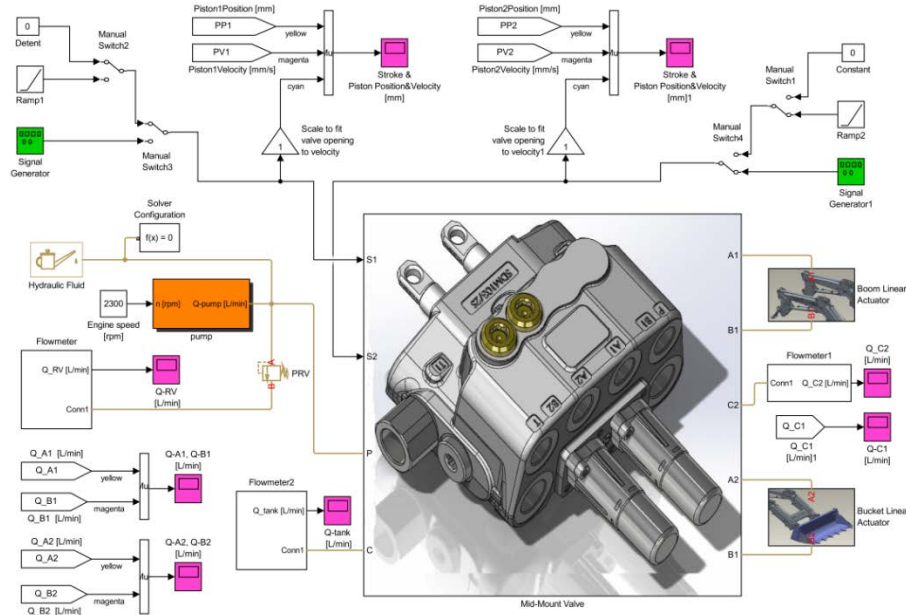
Ön yükleyici ataçmanı kapsamında mekanik bileşenler SimMechanics kütüphanesinde bulunan 'body' ve 'joint' blokları yardımıyla modellenmiştir. 3 boyutlu olarak tasarlanmış olan katı model verileri SimMechanics ortamına aktarılmıştır. Bu çalışmanın geliştirilmesi kapsamında mekanik sistemin optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Ancak, bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi, başka bir yayın kapsamında verilmesi planlandığı için, bu kısımda anlatılmayacaktır.

Sonuç olarak, SimHydraulics ve SimMechanics modeller Şekil 10'da görüldüğü gibi birleştirilerek hibrit bir model yapısı oluşturulmuştur.

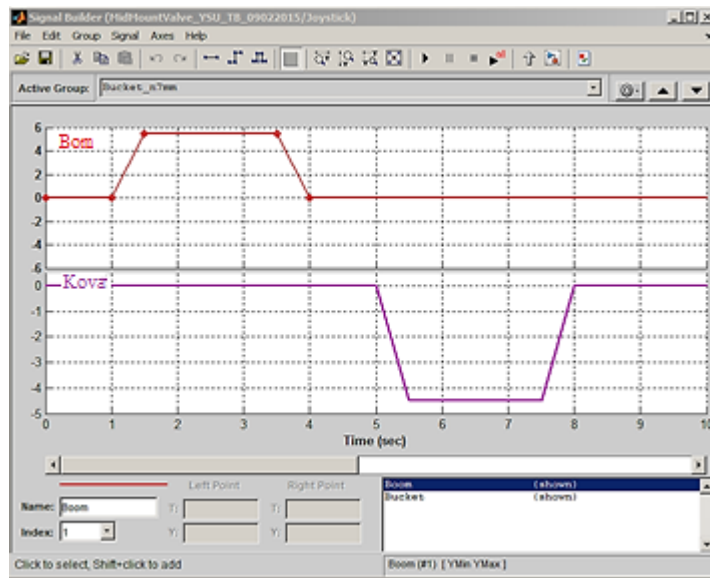
5. SİMÜLASYONLAR

Tümleşik sistem modeli için MATLAB/Simulink, SimHydraulics ve SimMechanics model çalışması yapılırken, bom ve kepçe hareketlerinin simülasyonda izlenebilmesi için sinyal (signal builder) bloğu da modele eklenmiştir.

Sinyal bloğuna girilen bu sinyal, valf sürgülerinin hareketini temsil etmektedir. Kullanıcı kumanda kolu yardımıyla valf konumunu ayarlayabilmektedir. Valfe verilen bu konum bom ve kepçenin hareketlerini oluşturan ve kontrol edilmesini sağlayan mekanizmayı harekete geçirmektedir. Kumanda kolu ile sağlanan ve valf sürgüsüne iletilen bu hareket, valfin içinde tasarlanmış olan uygun orifislerden geçerek istenen hareketin yapılmasını sağlar. Simülasyon modelinde bu durumu yansıtabilmek amacıyla sinyal bloğuna, kumanda koluyla verilen komutlar girilmiştir. Örneğin, Şekil 11'de verilen grafik, bom ve kepçeyi hareket ettirmek için valf sürgüsüne verilen hareketi göstermektedir.



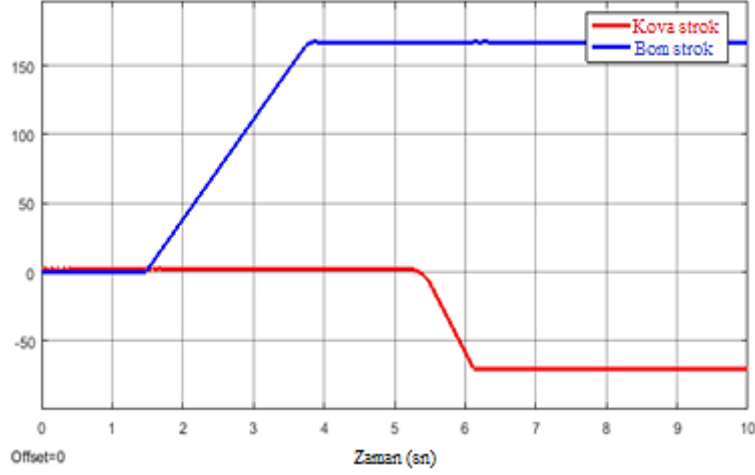
Şekil 10. Tümleşik Ön Yükleyci Sisteminin Hibrit SimHydraulics/SimMechanics Model Görüntüsü



Şekil 11. Hareket Simülasyonu Sinyal Girdileri

Girilen sinyallere göre alınan sonuçlar Şekil 12'de gösterilmiştir. Alınan çıktılar, bom ve kepçe silindirlere gelen sinyal doğrultusunda açılan hidrolik silindir konumlarını göstermektedir.

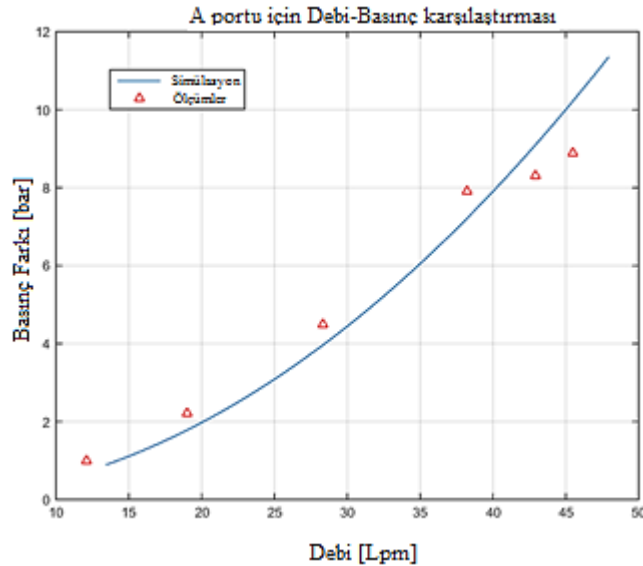
Bom ve kepçenin hareketlerinin, SimMechanics programında görsel ve sayısal olarak verilen değerlerle uyumlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 12. Kepçe ve Bom Silindirlere Piston Hareketleri

6. MODELİN DOĞRULANMASI

Ön yükleyici traktör üzerinde test edilmiştir ve sistemin doğrulanması çeşitli senaryolar ile yüklü ve yüksüz farklı motor devirlerinde yapılmıştır. Simülasyon ile elde edilen ve orta bağlantı birimi üzerinden geçen debi değerlerine karşılık basınç düşümleri, test değerleri ile birlikte Şekil 13'te gösterilmiştir. Basınç ölçümleri motor belirli devirlerde çalışırken yapılmıştır ve ilgili basınç ölçümleri orta bağlantı birimi basınç hattından ve ön yükleyici silindiri kaldırma hattından, sırasıyla Şekil 5'te gösterilen A ve B girişlerinden yapılmıştır.



Şekil 13. Orta Bağlantı Birimi Nötr Konumdayken Simülasyon ve Ölçüm Sonuçları

Test sonuçları ile simülasyon sonuçları arasında nitel ve nicel olarak tatminkar bir ilişki gözlemlenmiştir.



SONUÇ

Bu çalışmada, tarım traktörlerinde kullanılan ön yükleyici sisteminin hidrolik sisteminin SimHydraulics modeli geliştirilmiştir. SimHydraulics kütüphanesinde bulunmayan ve iki özel valfi içeren bir monoblok ön yükleyici orta bağlantı birimi modeli kurulmuştur. Ön yükleyici sisteminin mekanik kısmı SimMechanics kullanılarak oluşturulmuştur. Kurulan SimHydraulics ve SimMechanics modelleri birleştirilmiş ve tümleşik ön yükleyici sistemi için hibrit bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model traktör üzerinde yapılan ölçümlerle doğrulanmıştır.

Geliştirilen modelin sürdürülmekte olan çalışmalarda ve gelecekteki projelerde enerji optimizasyonu, performans geliştirme çalışmaları, ağırlık azaltma ve yeni sistem tasarımı amaçlarına yönelik olarak kullanılması planlanmaktadır.

REFERENCES

- [1] Automation Studio, Famic Technologies.
- [2] Easy5, Advanced Controls & Systems Simulation, MSC Software.
- [3] MATLAB/ Simulink, SimHydraulics Toolbox, Mathworks Inc.
- [4] LMS Imagine.Lab AMESim platform.
- [5] M. D. Worley and V. La Saponara, "A Simplified Dynamic Model for Front-End Loader Design", Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science, v.222, pp. 2231-2249, 2008.
- [6] J. Shen ve diğerleri, "A Comprehensive Genetic Algorithm for Design Optimization of Z-bar Loader Mechanism", Journal of Mechanical Science and Technology, v.27, n.11, pp.3381-3394, 2013.
- [7] X. Cao, W. L. Cleghorn, "Parametric Optimization of an Eight-bar Mechanism of a Wheel Loader Based on Simulation", Information Technology Journal, v.10, n.9, pp.1801-1808, 2011.
- [8] Y. Li, W. Hu, S. Frimpong, "Compound Mechanism Modeling of Wheel Loader Front-End Kinematics for Advance Engineering Simulation", Int. Adv. Manuf. Technol., v.78, pp. 341-349, 2015.
- [9] Walvoil Control Systems, S.P.A., Product Catalogues, Monoblock valves.

ÖZGEÇMİŞ

İdil İlke GÜLTEKİN YILDIZ

1989 yılı Ankara doğumludur. 2012 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek lisans çalışmalarına Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde devam etmektedir. 2013 yılından beri TürkTraktör Ziraat Makineleri A.Ş. de görev yapmaktadır. Güç hidroliği, mekanizma optimizasyonu ve matematiksel modelleme konularında çalışmaktadır.

Samet Adem CÖMERT

1986 yılı Eskişehir doğumludur. 2008 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2011 yılında İTÜ Mekatronik Yüksek lisansını tamamlamış, aynı üniversitede doktora çalışmalarına devam etmektedir. 2010-2012 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2012 yılından beri TürkTraktör Ziraat Makineleri A.Ş. de görev yapmaktadır. Güç hidroliği, modelleme ve kontrol konularında çalışmaktadır.

Gül ERKAL

1980 yılı Kayseri doğumludur. 2004 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. ODTÜ Makina mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamlamıştır. 2008 yılından itibaren TürkTraktör Ziraat Makineleri A.Ş. de motor ve motor tesisatı mühendisi olarak görev yapmıştır, 2013 yılından itibaren aynı şirkette, hidrolik yöneticisi olarak çalışmaktadır.

**Alper ŞAHİN**

1990 yılı Ankara doğumludur. 2013 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. ODTU Mühendislik Bilimleri Bölümü'nde yüksek lisans yapmaktadır. 2013 yılında Arçelik A.Ş.'de Sistem Tasarım Mühendisi olarak işe girmiş, sonrasında 2015 yılında girdiği TürkTraktör Ziraat Makineleri A.Ş.'de halen Hidrolik Mühendisi olarak göreve devam etmektedir.

Emir Murat KARAKOÇ

1990 yılı Ankara doğumludur. 2015 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede Yüksek Lisans çalışmalarına devam etmektedir. 2016 yılından beri TürkTraktör Ziraat Makineleri A.Ş. de görev yapmaktadır. Güç hidroliği, matematiksel modelleme ve yapısal analiz konularında çalışmaktadır.

Y. Samim ÜNLÜSOY

1949 yılında Bursa'da doğdu. 1971 ve 1973 yıllarında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans ve Y. Lisans diplomalarını aldı. Doktora derecesini 1979 yılında İngiltere Birmingham Üniversitesinden aldıktan sonra, yurda dönerek ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde 1980 yılında Asistan Profesör, 1981 yılında Yardımcı Doçent, 1984 yılında Doçent oldu. 1990 da Profesör ünvanını aldı. 2016 yılında emekli oldu. Şu anda, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde ek görevli olarak Otomotiv Mühendisliği, Araç Dinamiği, Endüstriyel Hidrolik ve Pnömatik Güç Sistemleri derslerini vermekte, araştırma yapmakta ve uygulamalı araştırma projelerine katkıda bulunmaktadır.

Tuna BALKAN

1957 yılında Manisa'da doğdu. Halen çalışmakta olduğu Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1979 yılında "Lisans", 1983 yılında "Yüksek Lisans", 1988 yılında da "Doktora" derecelerini aldı. 1985 yılında "Öğretim Görevlisi", 1988 yılında "Yardımcı Doçent", 1990 yılında "Doçent" ve 2000 yılında da "Profesör" ünvanını aldı. 1998-2008 yılları arasında ODTÜ Bilgisayar Destekli Tasarım İmalat ve Robotik Merkezi Başkan Yardımcılığı, 2004-2008 yılları arasında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı, 2015-2017 yılları arasında da Bölüm Başkanlığı görevlerini yürüttü. Halen ODTÜ Mühendislik Fakültesi Dekan V. olarak görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, kontrol sistemleri, sistem modellenmesi, benzetimi ve tanılması, akışkan gücü denetimi, robotik ve uygulamaları ve gerçek zamanlı kontrol sistemleri alanlarında yoğunlaşmış olup, bu konularda çeşitli uygulamalı endüstriyel çalışmalarda yer almıştır. 2001 yılından beri HPKON Yürütme Kurulu üyesi, 2008 yılındaki 5. kongrede Yürütme Kurulu Başkanlığı görevini yapmıştır.