



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YATAY KATOT LEVHA SIKIŞTIRMA
PRESİNİN TASARIMI, MODELLENMESİ VE
KONTROLÜ

Ahmet ÖZTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

AĞUSTOS-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presinin Tasarımı, Modellenmesi ve Kontrolü” adlı tez çalışması 31/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TINKIR

.....

Üye

Prof. Dr. Faruk ÜNSAÇAR

.....

Üye

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with atasarımemic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet ÖZTÜRK

Tarih: 31.08.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presinin Tasarımı, Modellenmesi ve Kontrolü

Ahmet ÖZTÜRK

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TINKİR

2020, 70 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TINKİR
Prof. Dr. Faruk ÜNSAÇAR
Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Bu çalışmada, katot levhaların elektroliz esnasında kısa devreye sebebiyet verme durumunu engellemek, levhalara düz form vermek ve plastik deformasyon uygulayarak mukavemet kazandırmak amacıyla endüstriyel yatay katot levha sıkıştırma presinin tasarımı, yapısal analizi, sistemin modellenmesi ve konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı endüstriyel talebi karşılamak, mühendislik tasarımı ve uygulamaları ile teknolojik değeri olan bir ürün ortaya çıkarmaktır. Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, istenilen görev fonksiyonunu yerine getirecek verilerin elde edilmesi için presin ön tasarımları yapılmıştır. Presin ön tasarımı ölçüleri, hidrolik sistem (güç ünitesi ve eyleyici) parametreleri ve yapısal analiz için gerekli olan konstrüksiyon geometrisi belirlenmiştir. İkinci aşamada; ön tasarımı yapılan yatay katot levha sıkıştırma presinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve statik analizleri yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise, hidrolik sistem modeli ile üç boyutlu presin katı modeli birleştirilmiştir ve makinenin hem hidrolik hem de mekanik hareketini simüle edebilecek gerçekçi bir tasarım modeli elde edilmiştir. Ayrıca presin PID (Oransal+İntegral+Türevsel) kontrol kullanılarak kapalı çevrim geri beslemeli konum kontrol simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Modelleme, analiz, simülasyon ve kontrol çalışmalarında SolidWorks ve MATLAB Simulink/SimHydraulic/SimMechanics yazılımları kullanılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre yatay katot levha sıkıştırma presinin prototip imalatı yapılmıştır ve ortaya çıkan nihai ürün sonucunda insan gücüne bağlılığın ve personel giderleri noktasında %90'dan fazla bir kazanç elde edildiği görülmüştür. Yapılan analiz hesaplamalarına göre çelik kafes sisteminde hacimsel %40 ağırlık tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca simülasyonlarda yaklaşık %2 sapma ile hassas konum kontrolü elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında, endüstriyel bir ihtiyacı karşılamak üzere hassas konum kontrollü, ekonomik ve ergonomik yeni bir yatay katot levha sıkıştırma presinin tasarımı ve imalatı için önemli teknik bulgular elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik sistem, konum kontrolü, modelleme, prototip imalat simülasyonu, yapısal analiz, yatay katot levha sıkıştırma presi.

ABSTRACT

MS THESIS

Design, Modelling and Control of Horizontal Cathode Plate Compacting Press

Ahmet ÖZTÜRK

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa TINKIR

2020, 70 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Mustafa TINKIR
Prof. Dr. Faruk ÜNSAÇAR
Assoc. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ

In this study, design, structural analysis, modeling and position control of the horizontal cathode plate compacting press were realized for preventing short circuit situation of cathode plates during electrolysis process and, to give flat form to sheets and increasing strength applying plastic deformation. The main purpose of the study is to carry out a technological product to meet industrial demand via engineering design and applications. This study consists of three stages. In the first stage, pre-design of the press was performed to obtain data executing the desired task function. Preliminary design dimensions of the press, hydraulic system (power unit and actuator) parameters and the construction geometry required for structural analysis were determined. In the second stage, modeling and static analyses of the pre-designed horizontal cathode plate compression press using the finite element method, were achieved. In the third stage, the hydraulic system model and the solid model of the three-dimensional press were combined and a realistic design model that can simulate both hydraulic and mechanical motion of the machine was obtained. In addition, closed loop feedback position control simulation of the press was carried out using PID (Proportional + Integral + Derivative) control. SolidWorks and MATLAB Simulink/SimHydraulic/SimMechanics softwares were utilized in modeling, analysis, simulation and control studies.

According to the obtained results in the study, the prototype of the horizontal cathode plate compression press was manufactured and, as a result of the final product, it was observed that more than 90% gain was established in terms of commitment to manpower and personnel expenses. According to the analysis calculations, 40% volumetric weight saving was achieved in the steel cage system. Moreover, precise position control was achieved with approximately 2% deviation in simulations.

As a result, within the scope of this study, important technical findings to meet an industrial need, were obtained for the design and manufacture of a new horizontal cathode plate compression press with precise position control, economical and ergonomic.

Keywords: Hydraulic system, position control, modelling, prototype manufacturing, simulation, structural analysis, horizontal cathode plate compacting press.

ÖNSÖZ

Akademik faaliyetlerimin ve tasarım çalışmalarımın her aşamasında yardımını ve desteğini esirgemeyen, Her türlü problem karşısında bilgi ve birikimi ile yol gösterici olan, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TINKIR'a, Proje & Tasarım Mühendisi olarak çalışmakta olduğum, tez konusu makinenin ticari ürün olarak üreticisi ve tasarımcısı olan deneyimli ekibi ile beraber Tesakom Makine Maden Kimya Danışmanlık Limited Şirketi'ne ve yerli ve milli üretimi benimseyerek ülkeme değer katma gayretinde bulunmama sebep olan bu konuma ulaşmamda büyük emekleri bulunan annem Gönül ÖZTÜRK'e ve babam Halil İbrahim ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkür ederim.

Ahmet ÖZTÜRK
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Hidrolik Pres Tasarımı.....	14
3.1.1. Piston tasarımı.....	15
3.1.2. Bükme kuvveti.....	16
3.1.3. Hidrolik güç ünitesi tasarımı.....	17
3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	18
3.2.1. Sonlu elemanlar analizi.....	19
3.2.2. Çözüm ağı (mesh) geometrisi.....	21
3.2.3. Doğrusal statik analiz.....	22
3.3. Hidrolik Sistem Modeli	23
3.3.1. Oransal kontrollü valf.....	23
3.3.2. Kapalı çevrim (closed loop) sistem kontrolü.....	24
3.3.3. PID kontrolcü.....	25
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	27
4.1. Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presi Tasarımı	27
4.1.1. Hidrolik sistem tasarımı.....	30
4.1.2. Hidrolik güç ünitesi tasarımı.....	30
4.2. Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presi Yapısal Analizi.....	31
4.2.1. Şasenin statik analizi.....	32
4.2.2. Kafaların statik analizi.....	36
4.3. Hidrolik Sistemin Modellenmesi ve Konum Kontrolü.....	39
4.3.1. Hidrolik sistemin modellenmesi	41
4.3.2. Hidrolik sistemin konum kontrolü.....	48
4.3.3. Hidrolik sistem modelinin mekanik katı sistem modeli ile entegrasyonu	53
4.3.4. Hidrolik – mekanik entegre sistem modelinin konum kontrolü	56
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
5.1 Sonuçlar	60

5.2 Öneriler	66
6. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ	70



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

F	: Kuvvet
P	: Basınç
A_p	: Hidrolik silindir iç alanı
t_{silindir}	: Silindir cidar kalınlığı
σ_{Silindir}	: Silindir akma gerilmesi
D	: Hidrolik silindir iç çapı
R	: Hidrolik silindir iç yarı çapı
E_{mb}	: Burkulma emniyet katsayısı
E_{mil}	: Mil elastisite modülü
J	: Polar atalet momenti
d_{mil}	: Hidrolik mil çapı
π	: Pi sayısı ($\cong 3, 14\dots$)
S_k	: Mil Serbest burkulma boyu
$F_{bükme}$: Bükme kuvveti
$\sigma_{\text{Bakır}}$: Bakır akma dayanımı
$W_{bükme}$: Büküm kesit genişliği
$T_{\text{bakır}}$: Bakır plaka kalınlığı
$L_{bükme}$: Büküm kesit uzunluğu
z	: Katot plaka adedi
V	: Silindir iç hacmi
Q	: Hacimsel debi
t_{strok}	: Strok süresi
Z_{silindir}	: Silindir sayısı
P_{motor}	: Elektrik motor gücü
F_{yay}	: Yay kuvveti
k	: Elastisite modülü
x	: Birim yer değişimi
E	: Malzeme elastisite modülü
σ	: Gerilme
ε	: Birim yer değiştirme

K_p	: Oransal kazanç katsayısı
K_i	: İntegral kazanç katsayısı
K_d	: Türevsel kazanç katsayısı
$F_{\text{sürtünme}}$: Sürtünme kuvveti
μ	: Sürtünme katsayısı
N_{plaka}	: Plaka tepki kuvveti

Kısaltmalar

CAD	: Computer Aided Drawing (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAE	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
HGÜ	: Hidrolik Güç Ünitesi
PID	: Proportional– Integral– Derivative(Oransal– İntegral– Türevsel)
POM	: Polioksimetilen (Delrin)
PP	: Polipropilen
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
YKLP	: Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presi

1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda ve üretim sahalarında uzun yıllardır hemen hemen her sektörde çeşitli proseslerde kullanılmakta olan pres makineleri mekanik veya hidrolik güç ile tasarımlarına göre sıkıştırma işlemini yerine getiren makinelerdir. Yerine getirdiği fonksiyon ve çalışma prensibi bakımından birbirine oldukça yakın makineler olarak görülen presler kullanılacağı proses şartlarına göre çeşitlenmekte ve geçmişten günümüze sürekli geliştirilen teknolojik ekipmanlar ile kullanım oranları günden güne artmaktadır. Pres tasarımlarında ilk olarak makinenin sıkıştırma esnasında uygulayacağı güç önem arz etmektedir. Güç parametresinin yanı sıra silindir tasarımı ve strok süresi ile ortaya çıkacak debi ihtiyacı sistemin ihtiyaç duyacağı elektrik gücü ortaya çıkarmaktadır. Pres tasarımlarında mekanik ve hidrolik olarak iki ayrı sistemin entegrasyonu görülmektedir. Hidrolik sistemin ürettiği gücü mekanik sistem vasıtasıyla faydalı iş olarak kullanmak gerekmektedir. Ortaya çıkacak güce göre de mekanik şase oluşturulmalı ve makine tasarımı tamamlanmalıdır.

Katot bakır levhalar yüksek saflık oranına sahip endüstriyel bir ana üründür. Bakır tel, levha, pirinç – bronz alaşımları dahil olmak üzere çeşitli üretim proseslerinde kullanılmaktadır. Elektroliz prosesi içerisinde %99,9'a yakın saflıktaki plakaların kimyasal reaksiyon için gerekli asit ve uygun sıcaklık altında anot plakalar tarafından sağlanan gerilme ile saf bakır oranı arttırılmaktadır. Gerilme altında anot plakalardan katot plakalara bağlanan bakır, katot levhaların çok yüksek saflıkta (%99,9999) ürün olarak üretilmesini sağlamaktadır. Bu süreç altında katot plakaların aynı zamanda bakır miktarı artmakta ve ağırlıkça maddi kazancı artmaktadır. Katot plakalar arasında yerleştirilen anot plakaların düzlemsel olarak ortaya çıkan hatalar gerilmenin de etkisiyle anot plakalara temas etmesine ve kısa devre olmasına sebebiyet vermektedir. Kısa devre üretim prosesi için istenmeyen bir durum olmakla beraber bakır plakalardaki ürün kalitesini düşürmekte ve üründe deformasyona neden olmaktadır. Üretim prosesi gereği düz olarak üretilmeyen katot levhalar elektroliz tanklarında proses içerisinde düzeltilerek üretim devam etmektedir. Elektroliz vinçleri, tankları 35 adet plakanın aynı anda hareket edebileceği şekilde tasarlanmış durumdadır. Katot plakaların 35'li setler halinde preslenerek düzeltilmesi, düzeltilirken plastik deformasyon ile şekil verilerek mukavemet sağlanması istenmektedir. Bakır katot plakaları yaklaşık olarak 1000x1000 mm ölçülerinde 2-8 mm kalınlığa sahip olmaktadır.

Katot plakaların stok görseli Şekil 1.1’de verilmiştir. Şekil 1.1’de verilen görsel elektroliz prosesi sonrası satışa hazır ürün halidir.

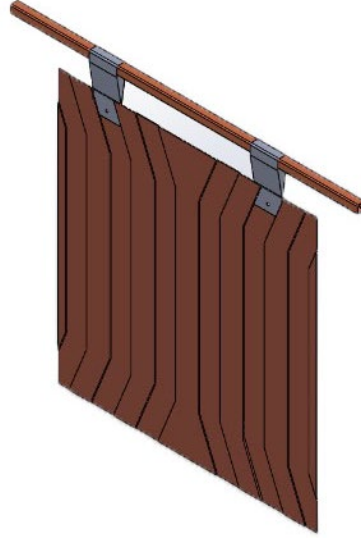


Şekil 1.1 Katot Levha (Energymetal A.Ş.,2019)

Gelişen teknoloji ile beraber hidrolik sistemler üzerinde de çeşitlilik artmış, akışkan kontrolü de bu çeşitlilik arasında öncelikli iş kolu olmuştur. Pompa tarafından sağlanan hidrolik akışkanın yönlendirmesinde çeşitli valfler kullanılmaktadır. Giriş sinyali ile orantılı olarak akışkan debisini ve basıncını kontrol etmekte kullanılan oransal valfler kontrol sistemleri için vazgeçilmez olmuştur.

Bu çalışmada, katot bakır levhalara üzerinde talep edilen 2 mm derinliğinde geometriyi oluşturmak üzere pres tasarlanmıştır. Kullanım şartları gereği “tankhouse crane” diye adlandırılan tavan vinçleri ile makineye konumlandırılabilen 35 adet katot plaka düzeltilmesi ve plastik deformasyon ile mukavemet kazandırılması için tasarım yapılmıştır. Şekil 1.2’de verilen aparat (bakır bara) ile makineye yerleştirilecek olan katot plakalar, yine Şekil 1.2’de üç boyutlu model ile gösterilen form verilerek şekillendirilecektir. Plakalara form verme işlemini, kullanım şartlarını ve mühendislik uygulamalarını birleştirerek üç boyutlu tasarım model oluşturulmuştur. Yapılan tasarım neticesinde ortaya çıkan katı model SolidWorks Simulation yazılımı ile modellenerek ve sonlu elemanlar yöntemi ile statik analizi yapılmıştır. Fonksiyonu yerine getirmek üzere tasarlanan presin hidrolik sistemi MATLAB SimHydraulics yazılımı üzerinden

modellenecek konum kontrolü yapılmıştır. Üç boyutlu tasarım modeli kullanılarak oluşturulan MATLAB SimMechanics modeli ile SimHydraulics modeli entegre edilerek sistem kontrolü ve simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 1.2 Katot levhanın şekil verilmiş hali üç boyutlu katı model

Sistem kontrolü konum geri beslemeli PID (Oransal-integral-türevsel) denetleyici ile kapalı çevrim kontrol edilmiştir. Fonksiyonu yerine getirmek üzere oluşturulan senaryo referans giriş sinyali olarak piston konumunu kontrol etmek üzere sisteme girilecektir. Kontrolcü üzerinden sistem kontrolü valf giriş sinyali ile sistemi referans konuma göre hareket ettirmektedir. Sisteme ilerleme ve sıkıştırma anlarında etki eden kuvvet de simüle edilerek sistemin kontrolü ve tepkisi gözlemlenmiştir.

Çalışma içerisinde:

- Yatay katot levha sıkıştırma presi üç boyutlu tasarımı
- Yatay katot levha sıkıştırma presi hidrolik sistem tasarımı
- Yatay katot levha sıkıştırma presi üç boyutlu tasarımının sonlu elemanlar analizi ile modellenmesi ve tasarımın doğrulanması
- Hidrolik sistemin modellenmesi ve konum kontrolü
- Hidrolik sistem ile katı modelin entegrasyonu, modellenmesi ve konum kontrolü

başlıkları ile yatay katot levha sıkıştırma presinin tasarım, analiz ve konum kontrolü ele alınmıştır. Literatür çalışmalarının yer aldığı kaynak araştırmasında çalışmalar özet halinde ele alınmıştır. Ardından materyal ve yöntem kısmında uygulamalar ve yöntemler açıklanmıştır. Materyal ve yöntem kısmında açıklanan şekilde çalışma faaliyetleri ve elde edilen veriler araştırma sonuçları ve tartışma kısmında açıklanmıştır.

Literatürde kullanım şekli ile benzeri bulunmayan yatay katot levha sıkıştırma presi, hidrolik sistem olarak da literatür de çok yer alan bir sistem olmadığı görülmüştür. Endüstride benzer uygulamalar mevcut olarak bulunsa da özel olarak tasarlanan yatay katot levha sıkıştırma presi çalışma prensibi olarak benzeri bulunmamaktadır. Tasarım, tasarım doğrulama ve konum kontrolü çalışmaları ile mühendislik disiplini ile tamamlanan faaliyetlerin sonucu ortaya çıkan bu çalışma özgünlüğü ile literatürde yer alacaktır. Mühendislik tasarımlarının başlangıcı bir problem ya da soruna çözüm olarak tasarım ihtiyacının doğması, tasarımın yapılması ve doğrulanması ardından sistemin kontrolü ile başarılı bir çalışma ortaya çıkmıştır. Ayrıca, hidrolik ve katı-hidrolik entegre sistem modellemesi ile farklı bir modelleme yaklaşımı ile sistem ele alınmıştır. Sistemin konum kontrolü ile hidrolik sistemlerin güncel ve gelişen teknolojiye uygun simülasyonu ile çalışma tamamlanmıştır.

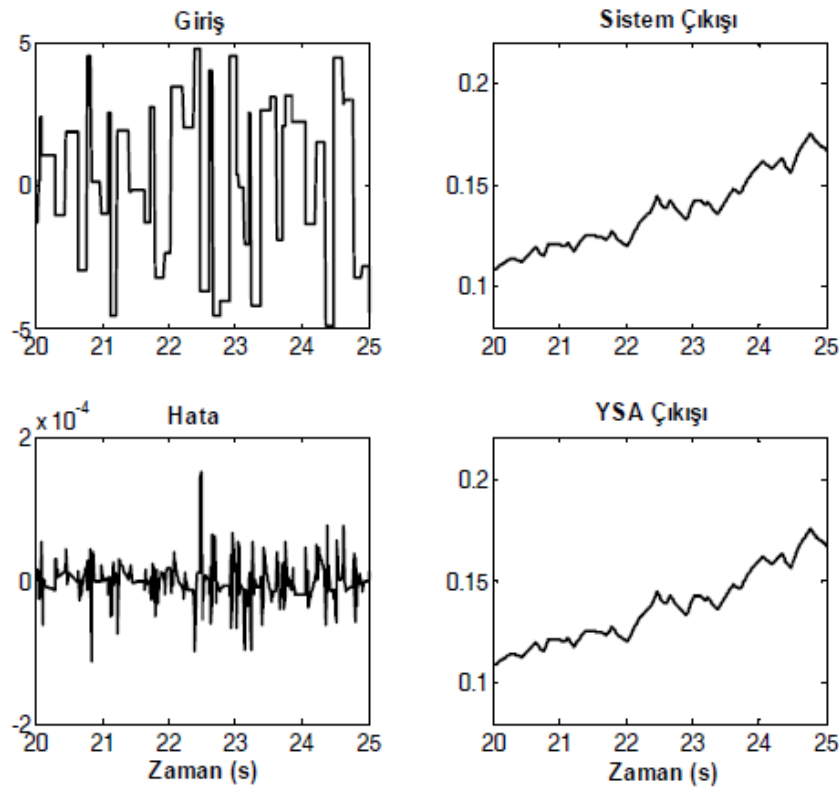
Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan tasarımın prototip imalatı Tesakom Makine Maden Kimya Danışmanlık Limited Şirketi tarafından yapılmış olup Türkiye'nin önde gelen bakır üretim tesisinde kullanılmaktadır. Tesisin ilgili proses için günlük personel giderleri %90 oranından fazla azalmıştır.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında ortaya çıkan prototip neticesinde endüstriyel bir ihtiyaç karşılanmış, makine fonksiyonunu yerine getirmesi ve makine tasarım ihtiyacı sorunun ortadan kalkması ile başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Bu sonuç elde edilirken yapılan tasarım çalışmaları, mühendislik hesaplamaları ve gerçekleştirilen kontrol simülasyonları ile hem akademik hem de endüstriyel bir çalışma ortaya çıkmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

S.P. Sinha ve P.D. Murarka yapmış oldukları çalışmada (1988), hidrolik presin bilgisayar destekli tasarımının ele almışlardır. Hidrolik pres tasarımını üç boyutlu yapısal olarak tamamlamış olup, analitik yöntemler ile stres ve gerilme davranışlarını sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Pres gövdesinde meydana gelen yük etkileri ile beraber eksantrik yükün gövde davranışlarına etkilerini incelemiştir.

İ. İstif ve K. Kutlu yapmış oldukları çalışmada (2004) oransal valf kontrollü hidrolik silindir sisteminin Simulink modelini geliştirerek konum kontrolü yapmayı hedeflemiştir. Çalışma neticesinde yapay sinir ağı (YSA) model temeli öngörülü kontrol uygulanarak, hidrolik silindirin konum kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, kontrol parametreleri ve performans grafiklerini paylaşmışlardır.



Şekil 2.1 Tanılama amacıyla sisteme uygulanan rastlantısal giriş sinyali, sistemin cevabı ve oluşturulan YSA modeli cevabı ile hatanın değişimi (İsnif,2004)

M. Demetgül ve O. Yazıcıoğlu (2007) yapmış oldukları çalışmada çift etkili silindiri ele almış ve silindirin servo valfle kontrolü için modelini oluşturmuşlardır.

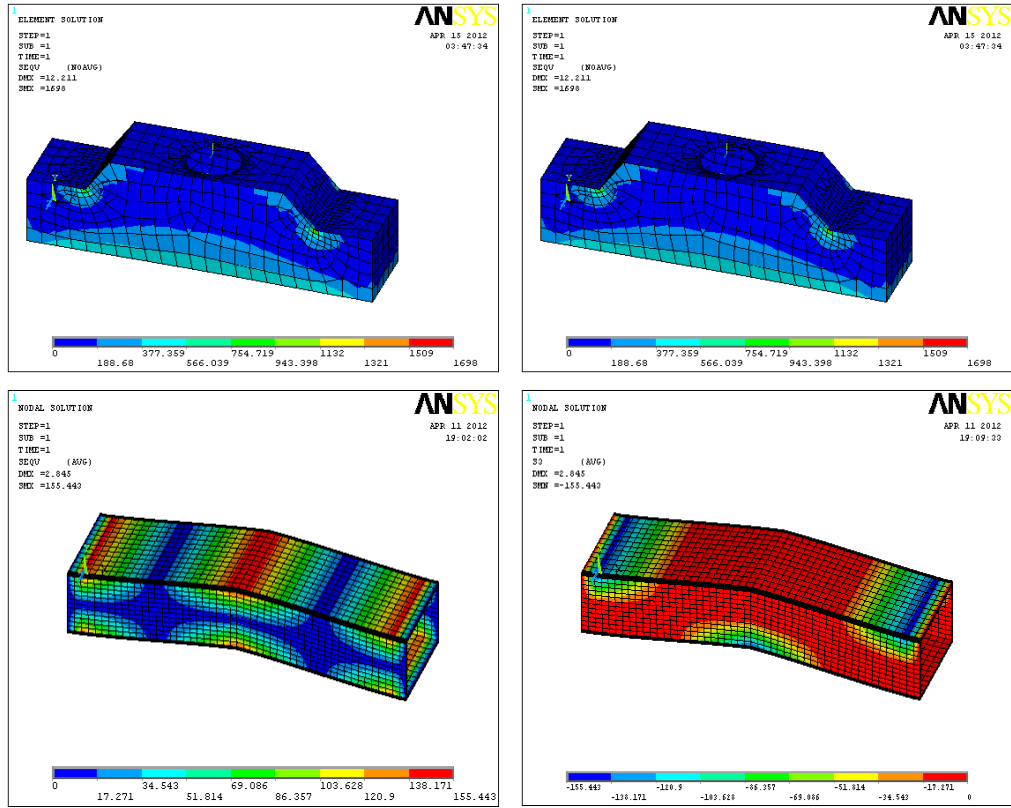
Sistemin MATLAB/SimHydraulic yazılımı üzerinden modelinin oluşturulduğu çalışmada sistemin kontrolünü ve davranışını gözlemlemişlerdir.

Ö. Tekelsan, N. Gerger ve U. Şeker Yapmış oldukları çalışmada (2008) V bükme kalıplarında bakır sac malzemelerin geri esneme miktarlarını tespit etmeyi amaçlayarak, Deformasyon için gerekli kuvveti belirleyip hazırlamış oldukları kalıp üzerinden bükme işlemi ile bakır sac malzemelere şekil vermişlerdir. Çalışma sonucunda elde ettikleri sonuçlar ile şekil verdikleri sac malzemelerin geri esneme miktarlarını karşılaştırmışlardır.

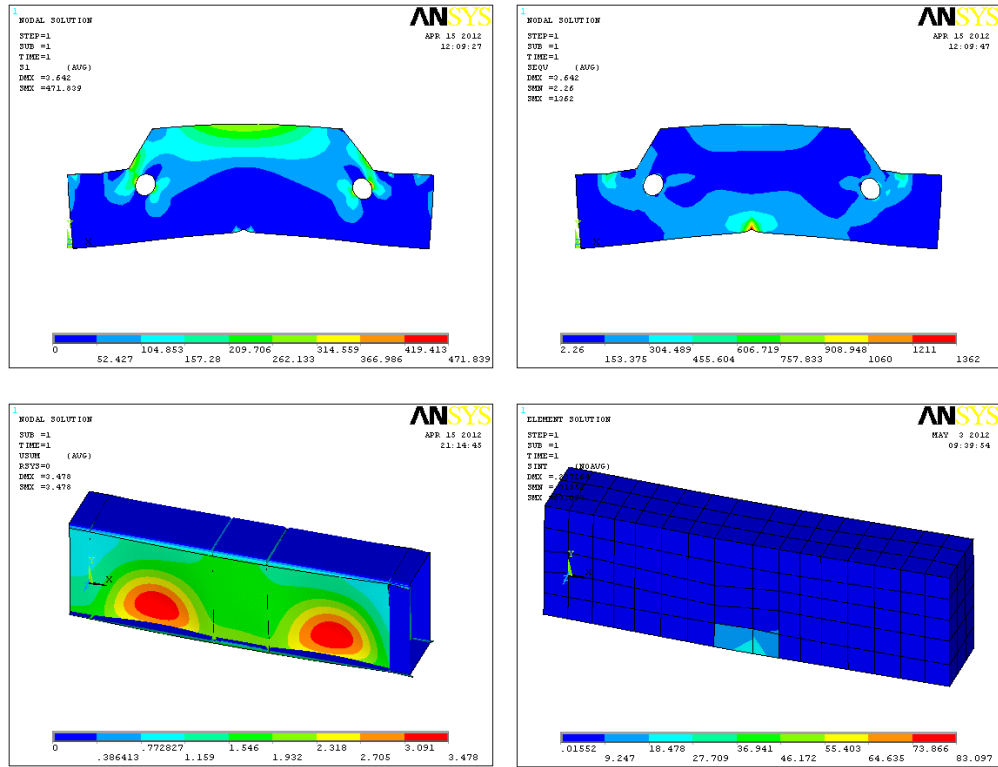
E.E. Topçu ve arkadaşları (2011) yapmış oldukları çalışmada servo valf ile konum denetimini sistemin yük durumuna göre etkisi üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Sistemin konum kontrolü için kullandıkları servo valfin yük altında ve yüksüz davranışlarını kıyaslamak üzere yola çıkılan çalışma neticesinde MATLAB / SimHydraulic yazılımı ile oluşturulan model ve laboratuvar ortamında kurulan sistem prototipi ele alınmıştır. Kontrol sonucu ile kıyaslama yapılarak prototip üzerinden elde edilen verilerin model ile uygunluğu gözlemlenmiştir. Sistem yanıtları kıyaslanarak çalışma başarı ile sonuçlanmıştır.

C.T. Nyguen ve arkadaşları (2012) yapmış oldukları çalışmada inşaat sektörü için oldukça önem arz eden ekskavatör makinesinin hidrolik tahrik elemanlarını ele almıştır. Sistemi geliştirmek üzere yola çıkan ekip sistemin hidrolik modelini MATLAB/SimHydraulic yazılımı ile oluşturduktan sonra SimMechanics yazılımı ile dinamik model oluşturmuş. Modelleri Simulink ortamında entegre ettikten sonra simüle etmiştir. Sistemi entegre model üzerinden kontrol ettikten sonra çalışmalarını tamamlayan Nyguen ve arkadaşları debi üzerinden sistem kontrolü sağlayıp %10 hassasiyetle sistemi kontrol etmeyi başarmışlardır.

A.G. Naik, N.K. Mandavgade bu çalışmada (2012), dikey hidrolik pres gövdesinin alt ve üst kısımlarının yük altındaki davranışlarını sonlu elemanlar yöntemi ile analiz ederek optimizasyon çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Tasarım üzerinden gerçekleştirmiş oldukları optimizasyon çalışmaları ile elde edilmiş olan değiştirilmiş geometri ile eski geometri analiz verileri karşılaştırılmıştır. Alt ve üst gövde üzerinde meydana gelen gerilme ve deformasyon dağılımları Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Ardından optimizasyon çalışmaları sonucu elde edilen yeni geometri üzerinden gerilme ve deformasyon dağılımları Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Alt ve üst gövdede meydana gelen gerilme ve deformasyon dağılımı (Naik, 2012)



Şekil 2.3 Alt ve üst gövde üzerinden optimizasyon ile elde edilen gerilme ve deformasyon dağılımları (Naik,2012)

E. Çınar ve arkadaşları (2013) yapmış oldukları çalışmada, hidrolik silindirin bulanık mantık yöntemi ile konum kontrolünü incelemiştir. Bulanık mantık ile elektro-hidrolik oransal bir sistemin açık çevrim davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Konum bilgileri Simulink ortamında modellenerek işlenmiş ve elektrik akımından doğrusal çıktı veren “linear variable differential transformer” ile sisteme uygulanmıştır. Daha sonra konum ile deney verileri karşılaştırılarak hata bulunmuştur. Çalışma neticesinde elde edilen modelleme ve deney verileri arasındaki hata grafiği paylaşılmış olup, ulaşılan sonucun literatürde yer alan verilere göre yeterli seviyede olduğu kanaatine varmışlardır.

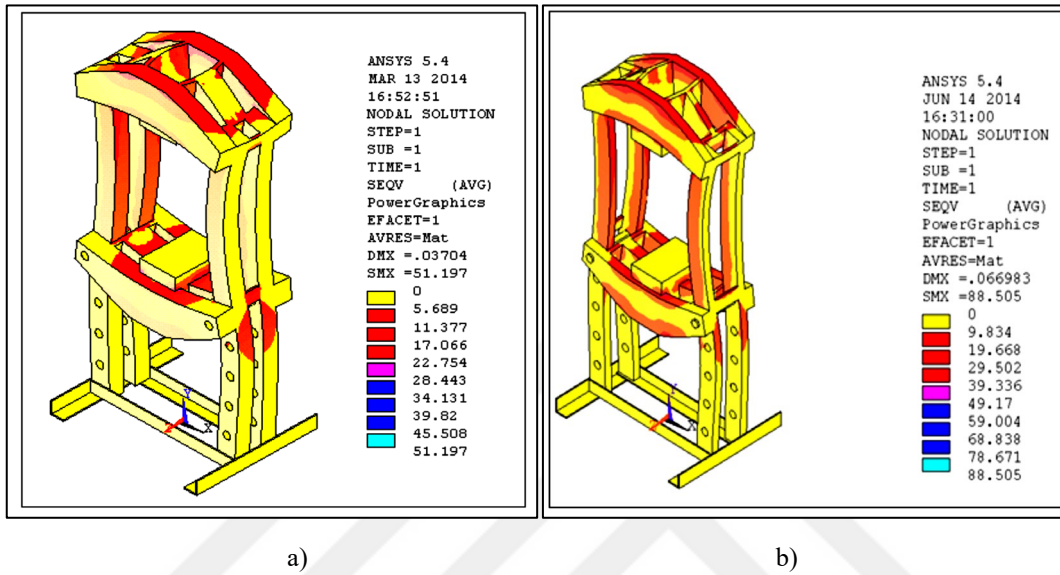
Özal Güceyü (2013) yapmış olduğu çalışmada hidrolik sistemin kontrolü için PID algoritmasını ele almıştır. Sistemi modellemek için MATLAB yazılımını kullanan Güceyü çalışma sonucu sistem kontrolünü parametreler üzerinden değerlendirmiş. Sistemin kontrol tepkisini parametre optimizasyonu ile elde maksimum hassasiyetle elde etmiştir. Sistemin hata sinyali üzerinden kontrol iyileştirmeleri ile tamamlanan çalışma sonucu sistemin PID kontrolcü katsayıları ile sistemin optimum değerleri elde edilmiştir. Yöntem olarak kontrolcü parametrelerinde ki değişimlere sistemin tepkisi incelenmiş ve en kararlı tepkinin elde edildiği katsayılar sonuç olarak verilmiştir.

O.T. Adenuga ve K. Mpofo (2014) yapmış oldukları çalışmada bükme işlemini yerine getirmek üzere kullanılan bir hidrolik presin konum geri beslemeli kontrolünü ele almışlardır. SimHydraulic yazılımı aracılığı ile konum kontrolü yapmışlardır. Elektronik sistemle entegre hidrolik sistem kontrolünü yazılım üzerinde sağladıktan sonra, laboratuvar ortamında da sistemi kontrol eden O.T. Adenuga ve K. Mpofo sistemin laboratuvar ortamında kontrolünü başarı ile tamamladıktan sonra çalışmasını tamamlamıştır.

A. Fındık (2014) yapmış olduğu çalışmada 500 ton kapasiteli metal şekillendirme presinin tasarımını, parçalarının imalat yöntemleri ve dokümanlarını ele almış. Tasarımın sonlu elemanlar yöntemi analizleri ile de doğrulamasını yaparak çalışmasını tamamlamıştır. Tasarım için bilgisayar destekli tasarım yazılımlarından AUTOTASARIM ve CATIA ile sistemi modelleyen Fındık analizler için ANSYS yazılımını tercih etmiştir. Analiz sonucu mukavemet noktasında tasarımından emin olan Fındık çalışmasını tamamlamıştır.

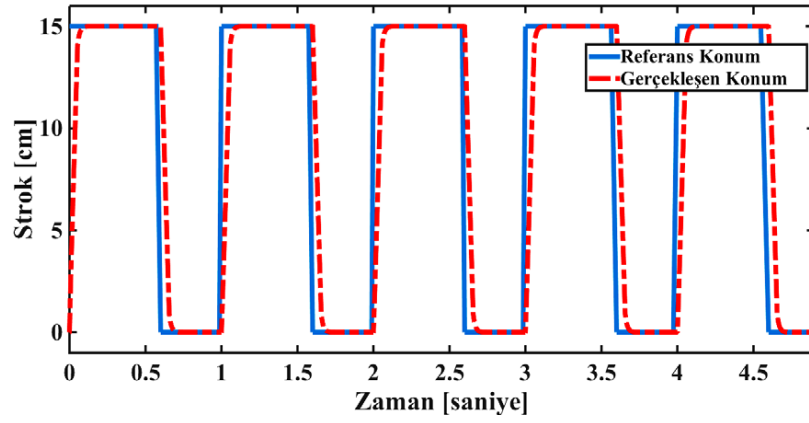
S.S. Malipatil ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada (2014), hidrolik presin yapısal analizi ve optimizasyon çalışmalarını anlatmışlardır. H tipi hidrolik pres üzerinden optimizasyon çalışmalarını yapmışlardır. Optimum tasarımı hedefleyen

çalışmada SolidWorks Simulation yazılımı ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde maksimum stres noktalarında yaklaşık 2 kata kadar azalma gözlemlenirken ağırlık olarak toplamda 80 kg kazanç sağlanmıştır. Statik yük altında gerilme dağılımı ve optimize edilmiş geometrideki gerilme dağılımı Şekil 2.4'deki hali ile ifade edilmiştir.



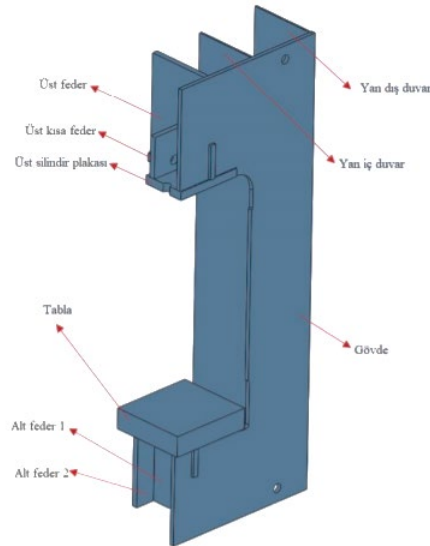
Şekil 2.4 Statik yük altında gerilme dağılımı a) Normal Geometri b) Optimize edilmiş geometri (Malipatil,2014)

H.Ç. Sezgen (2016) yapmış olduğu çalışmada, H tipi hidrolik presin topolojik optimizasyonu ve konum kontrolünü sağlamıştır. ANSYS Workbench yazılımı ile çalışmalarını ilerleten Sezgen sistem modeli üzerinden kontrol için MATLAB SimHydraulic yazılımı ve katı model aktarımı için MATLAB SimMechanics yazılımı kullanmıştır. Mevcuttaki bir ürün üzerinden çalışmalarını yürüten Sezgen, ciddi bir maliyet kalemi olan çelik yapı üzerinden optimizasyon çalışmalarını tamamlamıştır. Çalışma neticesinde ciddi bir optimizasyon sonucu elde eden Sezgen, sistemin konum kontrolü için MATLAB SimHydraulic yazılımını kullanmıştır. Hassas kontrol sonucu elde etmiştir.



Şekil 2.5 Referans konum sinyali ve sistemin gerçekleşen konumu (Sezgen,2016)

F. Elmas, O. Turhan ve M. Dilmeç (2019) yapmış oldukları çalışmada H tipi hidrolik presin gövdesinin yapısal analizini ve analiz sonucu elde edilen veriler ile optimizasyonunu sağlamışlardır. Çalışma neticesinde 300 tonluk hidrolik H tipi pres modeli ele alınmış olup, $\frac{1}{4}$ simetrik parça üzerinden analizleri yürütmüşlerdir. Şekil 2.6'da verilen şekli ile modelleme gösterilmiştir. ANSYS yazılımı üzerinden tamamlanan çalışma sonucunda %24 ağırlık kazancı ile başarılı bir sonuç elde etmişlerdir.

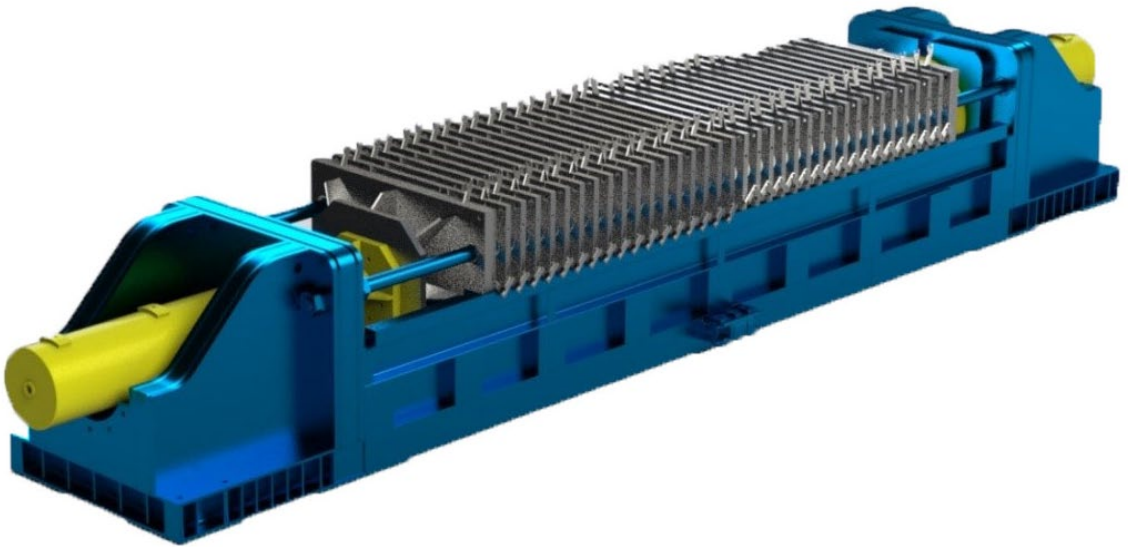


Şekil 2.6 Analiz için basitleştirilen hidrolik presin $\frac{1}{4}$ simetrik modeli (Elmas ,2019)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Presler, sabit bir noktaya uyguladıkları kuvvet altında faydalı iş olarak baskı uygulama fonksiyonunu yerine getirirler. Kullanım alanları arasında şekillendirme ağırlıklı olsa da makine elemanlarının (Rulman, kaplin, kasnak vb.) montaj uygulamalarında da kullanılmaktadır. Temel olarak baskı kuvvetinin kaynağına göre mekanik ve hidrolik olarak ikiye ayrılabilen presler kullanım alanına göre de birçok kolda incelenebilmektedir. Kauçuk vb. malzemelerin şekillendirilmesi ve imalatında kullanılmakta olan sıcak presler, atölye montajlarında kullanılan atölye tipi standart presler, metal şekillendirme presleri şeklinde sıralanabilmektedir. Metal şekillendirme preslerinin temel mantığı dişi ve erkek olarak ayrılan iki kalıp arasında yerleştirilen malzemelerin yük altında deformasyona uğratılması ve şekillendirilmesi işlemini gerçekleştirmektir. Baskı kuvvetinin kaynağı, fonksiyonunu ve bunun yanı sıra geometrisi itibari ile de presleri sınıflandırmak mümkündür. Tek sütunlu, çift sütunlu presler, dikey konumlu presler ve yatay konumlu presler şeklinde örneklere ayırmak da mümkündür.

Tez çalışmasında tasarımı yapılacak pres, hidrolik yatay konumlu metal şekillendirme presi olarak silindirik konumuna göre sınıflandırılabilir. Şekil 3.1 'de üç boyutlu tasarım modeli görünmekte olan pres, çift piston etkisi altında sıkıştırma fonksiyonunu yerine getirecek şekilde kullanıma özel olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.1 Yatay katot levha düzeltme presi tasarım modeli

Şekil 3.1’de verilen pres tasarım modeli; makinenin planlanan kullanım şekline göre Şekil 1.2’de gösterilen 35 adet plakanın elektroliz prosesinin gerçekleştiği tankhouse adı verilen fabrika sahasında yer alan vinçler tarafından kullanılacak şekilde bilgisayar destekli tasarım yöntemleri ile oluşturulmuştur.

Sıkıştırma esnasında düzlemselliği sağlanan bakır katot plakalara; bükme yöntemi ile plastik deformasyon sonucu şekil verilerek mukavemet artışının sağlanması hedeflenmektedir. Plastik deformasyon ile malzemenin tanecik yapısında meydana gelen dislokasyon hareketlerin malzemenin tanecik yapısındaki değişim ile mukavemet artışının sağlanacağı bilinmektedir. (H. Güler,2008)

Bu sayede elektroliz prosesi esnasında plakaların doğrusallığı sağlanmış ve kısa devre durumu engellenmiştir. Bu aşamada tahrik için belirlenen hidrolik sistem için güç ünitesi ve piston grubunun tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımda 35 adet plakaya belirlenen şekli oluşturacak bükme kuvvetini sağlayacak kuvvet hidrolik sistem tarafından sağlanacak şekilde belirlenmiştir. Hidrolik güç ünitesi tasarımı ve pistonların ebatları bu şekilde belirlenmiştir. Hidrolik sistem tarafından sağlanan kuvvet etkisinde makinenin dayanımı, kalıp plakalarının hareketi, bakır katot plakaların tesis içerisinde kullanılacak aparat ile yerleştirilebilmesi gibi belirlenen tasarım şartlarına göre yapılan tasarım sonucu ortaya çıkan model sıkıştırma plakalarının hareketi için yatay konumlu hidrolik pres makinesinin en büyük dezavantajını oluşturan sürtünme kuvvetini en aza indirecek kızakların tasarımı ile tamamlanmıştır.

Modelinden Şekil 3.1’de görülen pres, 1000x1000 mm ebatlarında 2-8 mm kalınlığına sahip bakır plakaların belirlenen formda şekillendirilmesi ve düzlemsel doğruluğunun artırılması işlemini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Tasarlanan presin yük analizleri ile tasarım doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Sistemin hidrolik modeli çıkarıldı, çıkarılan hidrolik model katı model ile entegre edilerek simülasyonu yapılmıştır.

Bakır plakalara verilen şekiller ile malzemenin mukavemeti artması hedeflenmektedir. Şekil verme ile mukavemet artırma konusunda ilgili literatürde yer alan tasarlanacak sisteme uygun iki farklı yöntem mevcuttur. Sıkıştırma yöntemi ile düzlemselliği sağlanan plakanın mukavemetinin artırılması için sıkıştırma esnasında plastik deformasyon ile mukavemet artırma yöntemlerinden birisi ezme yöntemi ile diğeri ise bükme yöntemi ile sağlanmaktadır. Malzemenin tanecik yapısında meydana gelen dislokasyonlar ile mukavemet artımı sağlanmakta ve elektroliz prosesi süresince doğrusallığın korunması sağlanmaktadır. Bu çalışmada tasarlanacak makine bakır

plakalara bükme yöntemi ile şekil vermektedir. Gerekli tasarım parametreleri için ilgili teorik ve analitik yaklaşımlar ile tasarım aşamaları tamamlanmıştır.

Tasarımı tamamlanan sistemin sonlu elemanlar yöntemi ile lineer statik analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda tasarımı tamamlanan üç boyutlu tasarım modelinin doğrulaması yapılmıştır. Yük altında ve sınır şartları doğrultusunda rijit gövdenin mukavemeti gerilme ve birim yer değiştirme grafikleri üzerinden elde edilmiştir. Bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları için sonlu elemanlar yöntemi için SolidWorks Simulation yazılımı kullanılmıştır. SolidWorks yazılımı üzerinden oluşturulan tasarım modeli üzerinden SolidWorks Simulation modülü ile SEY modeli oluşturulmuş, çözüm ağı elde edilmiş ve modelin çözümü sağlanmıştır. Yazılımın Simulation modülü üzerinden statik modülü üzerinden ilgili çalışma gerçekleştirilmiştir. Makinenin çalışma anında yük durumu çalışma süresi boyunca anlık olarak etki etmektedir, bu sebeple statik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler yorumlanmış ve tasarım üzerinden gerekli aksiyonlar alınarak nihai çalışma elde edilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise hidrolik model çıkarılmış ve çıkarılan modelin sırasıyla kontrolü ve katı model ile entegrasyonu üzerinden kontrolü sağlanmıştır. Hidrolik sistemin modellenmesi için MATLAB / SimHydraulic yazılımı kullanılmıştır. Sistemin sabit deplasmanlı pompa ile hareketi sağlanmış, PID kontrolü ile oransal valf üzerinden sistem kontrol edilmiştir. Kontrol sistemi kapalı çevrim olarak modellenmiş, referans giriş sinyali ile silindir konumu kontrol edilmiştir. Sistem kontrolü esnasında tasarım kriterlerinde elde edilmiş olan sıkıştırma plakalarının ilerleme esnasındaki sürtünme direnci, bakır plakaların deformasyon esnasındaki sıkıştırma kuvveti ile belirlenen senaryo altında yük sisteme direnç olarak eklenmiştir. Kontrol edilen sistem üzerinden iki farklı çalışma senaryosu altında sistem kontrol edilmiştir. Çalışma neticesinde hidrolik sistem modeli ile SolidWorks yazılımından elde edilen tasarım modeli entegre edilmiştir. Entegre edilecek model hidrolik sistem üzerinden simüle edileceği için basitleştirilmiş model ile çözüm elde edilmiştir. Yazılım ve donanım kısıtları gereği ile ilgili sadeleştirme yöntemleri kullanılmıştır.

Tasarım modeli MATLAB / SimMechanics yazılımı üzerinden modellenerek SimHydraulics modeli ile bağlanmıştır. Entegre model üzerinden sistem kontrolü sağlanarak kontrol parametreleri ve grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler ve parametreler yorumlanmıştır.

3.1. Hidrolik Pres Tasarımı

Hidrolik pres tasarımı, makine tasarım kriterlerinde olduğu şekilde belirlenen performans şartlarını sağlayacak şekilde yapılmıştır. Tasarım aşamaları iki aşamada değerlendirilebilir.

İlk olarak şase ve gövdenin pres kapasitesinde oluşacak yüke dayanıklı olması gereklidir. Uygun emniyetli tasarım yapılmalıdır. Tez çalışmasında emniyet katsayısı gövde ve şase için 1,5 alınmıştır. Yüke maruz kalacak alanlarda yapılan çelik kafes tipi güçlendirmeler ile oluşan tasarım üzerinden çelik yapı tasarımı tamamlanmıştır. Çizelge 3.1’de yer alan Tesakom Mak. Kim. Mad. Dan. Ltd. Şti. tasarım prosedürü yer alan emniyet katsayısı belirleme tablosu kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Emniyet katsayı belirleme tablosu (Tesakom, 2020)

	Ağır Şart	Orta Şart	Hafif Şart
4 Saat /Gün	1.6	1.5	1.3
8 Saat / Gün	1.7	1.6	1.5
16 Saat/ Gün	1.8	1.7	1.6
24 Saat / Gün	2	1.8	1.7

İkinci tasarım kısmı ise hidrolik gücü aktaran silindir, sıkıştırma kafası ve sıkıştırma plakalarının oluşturduğu kısım olarak değerlendirilmiştir. Hidrolik pistonun tasarım gereği işi sağlayacak basınç altında çalışması için uygun cidar kalınlığında silindir ve mekanik olarak yükü iletecek özellikle burkulma durumuna karşı mukavemetli mil tasarımı yapılmıştır. Ayrıca sıkıştırma yükünü iletecek olan kafa plakasının da yükü eş dağıtacak bir geometriye sahip olması gerekmektedir. Tamamlanacak tasarıma uygun şekilde sızdırmazlık elemanları tasarımı da ayrı bir tecrübe gerektirmektedir.

Hidrolik güç ünitesi tarafından pistonu etki eden basınç altında oluşacak sıkıştırma kuvvetini hesaplayarak mekanik tasarım için gerekli kuvvet elde edilir. Basıncın klasik tanımı olan “Birim yüzeye etki eden kuvvet” üzerinden yola çıkarak Pascal prensibine göre elde edilmiştir.

$$F = P \times A_p \quad (3.1)$$

Burada, F kuvveti, P basıncı ve A_p piston iç kesit alanını ifade etmektedir.

Elde edilecek kuvvet altında çelik gövde ve şasesinin tasarımı, yapılan tasarımın doğrulanması için uygulanacak SEY analizinde sisteme etki edecek parametre ortaya çıkmıştır.

3.1.1. Piston tasarımı

Hidrolik pompa tarafından sağlanan basıncın doğrudan etki ettiği bir diğer nokta ise hidrolik pistonun silindiri olmaktadır. Bu silindirin et kalınlığı basınca karşı dayanıklı olmak zorundadır. Mühendisliğin temeli olan statik ve mukavemet çalışmaları cidar kalınlığı Denklem 3.2'den elde edilmiştir. (Shigley, Mechanical Engineering Design, 2011)

$$t_{\text{silindir}} = \frac{P \times R}{2 \times \sigma_{\text{silindir}}} \quad (3.2)$$

Burada, t silindir kalınlığını, P basıncı, R silindir iç yarıçapını, σ silindir malzemesinin akma gerilmesini ifade etmektedir.

Hidrolik pompa tarafından sağlanan basınç altında sıkıştırma kuvvetini mekanik şaseye ileten eleman olarak yer alan hidrolik piston milinin tasarımı basınç altında oluşan kuvvete göre yapılmaktadır. Kuvvet altına çalışmakta olan milin burkulma durumuna karşı dayanımı önem arz etmektedir. Burkulma durumu için hidrolik sistem üreticileri tarafından emniyet katsayısı genelde 2-3,5 arasında uygulandığı literatürde ve endüstriyel uygulamalarda yer edinmiştir. (MMO Hidrolik Pnömatik Dergisi, 2007) Maksimum çalışma yükü üzerinden hesaplanan mil çapı aşağıdaki literatürde Euler formülü olarak kabul gören Denklem 3.3'de verilen ile elde edilmiştir.

$$\frac{F}{E_{mb}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{S_k^2} \quad (3.3)$$

Burada, F kuvvet, E_{mb} burkulma emniyet katsayısı, E elastisite modülü J polar atalet momenti, S_k mil serbest burkulma boyu olarak ifade edilmektedir.

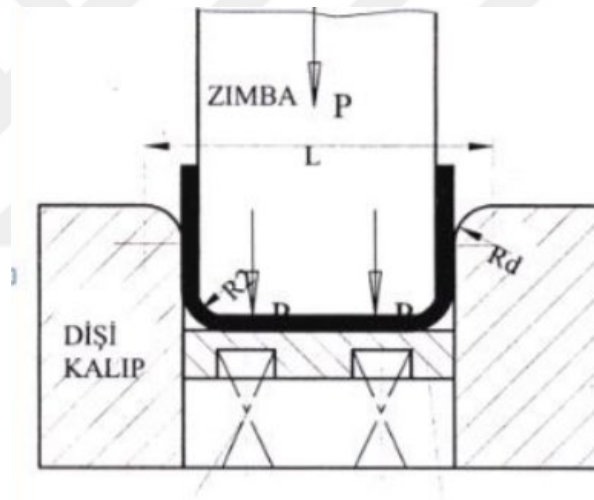
Formül üzerinden elde edeceğimiz polar atalet momenti üzerinden mil çapı elde edilecektir. Aşağıdaki formül ile daire kesitli mil için çap elde edilmiştir. (Shigley,2011)

$$J = \frac{d_{mil}^4 \cdot \pi}{64} \quad (3.4)$$

Burada; J polar atalet momenti, d mil çapı olarak ifade edilmektedir.

3.1.2. Bükme kuvveti

Baskı altında malzemelerin kat, kıvrım gibi şekil verilme işlemi bükme olarak tanımlanabilir. Endüstriyel uygulamalarda pres sistemlerinde kalıp altında uygulanan çeşitli bükme uygulamaları mevcuttur. Bu uygulamalar arasında U bükme, V bükme, L bükme, katlama, oluklu bükme gibi adlar ile adlandırılmış literatür, teknik ve pratik birçok uygulama mevcuttur. Bakır malzemesinin formu, yırtılma şekli ve endüstriyel nihai ürün olarak kullanılacak kriterler gereği U form bükme işlemi uygulamak üzere makine tasarlanmıştır.



Şekil 3.2 U Bükme işlemi (T.C. MEB,2013)

Malzemeler üzerinden plastik deformasyon ile şekil verme işlemi için malzeme cinsine göre değişiklik göstermekte olan enerjiyi sağlamak gerekmektedir. Bu enerjiyi sağlamak üzere presler için gerekli kuvvet hesabı yapılmalıdır. Bu çalışmada; malzeme cinsi, malzeme kalınlığı ve verilmek istenen şekil boyutlarına göre belirlenen kuvveti sağlamak üzere pres tasarımı yapılmıştır. Makine tasarım gereği bükme ile şekil verilecek plaka adedi de ilgili hesaplamalara dahil edilmiştir.

$$F_{bükme} = \frac{0,667 \cdot \sigma_{bakır} \cdot L_{bükme} \cdot T_{bakır}^2}{W_{bükme}} \cdot Z \quad (3.5)$$

Burada, F bükme kuvveti, L büküm şeklinin uzunluğu, T bükülecek malzeme kalınlığı, W büküm şeklinin genişliği, z bükme form adedi, σ bükülecek malzemenin akma dayanımı olarak ifade edilmektedir.

3.1.3. Hidrolik güç ünitesi tasarımı

Hidrolik preslerde sıkıştırma işlemini gerçekleştirmek üzere pistonu gerekli yükü sağlayacak olan akışkan pompa vasıtasıyla sisteme sıkıştırılarak gönderilecektir. Akışkanın piston içerisinde oluşturduğu basınç ile hareket olacak olan mil yükü iletecektir. İçten yanmalı motor vasıtasıyla ya da elektrik motor vasıtasıyla sağlanan açısal hareket ile çalışan hidrolik pompalar kullanım alanına göre çeşitlenmektedir. Bu çalışmada endüstriyel uygulamalar için daha verimli olan elektrik motorlar ile pompaya gerekli dönme hareketini sağlanmıştır.

Gerekli motor gücünü elde etmek için basınç ve güç olmak üzere iki parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametrelerden ilki basıncı elde etmek için pres tasarımında elde ettiğimiz kuvveti sağlayacak silindir boyutlarını belirlememiz yeterli olmaktadır. Silindir boyutu ve kullanım şartlarını karşılayacak strok uzunluğunun belirledikten sonra sistemin proses süresini sağlayacak debi belirlenmektedir. Piston boyutları büyüdükçe daha büyük kuvvetleri daha düşük basınç seviyelerinde elde etmek mümkün olsa da büyük silindirlerin hareket süresi için debi ihtiyacının artması ve dayanımı sağlayacak pistonun ebatları ve imalatı zorlanmaktadır.

Belirlenen basınç altında gerekli kuvveti sağlayacak bağlantı Denklem 3.1’de belirtilmişti. Bu parametre altında ortaya çıkan silindir iç hacmi ile strok süresi aşağıdaki Denklem 3.6’da belirtilen fiziksel ilişki ile sistemin debi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Makine çift pistonlu olduğu için gerekli debi ihtiyacı piston sayısı ile çarpılmıştır.

$$Q = \frac{V}{t_{strok}} \cdot z_{silindir} \quad (3.6)$$

Burada, Q hacimsel debi, v strok ilerleme hızı, t strok süresini, z silindir adedi olarak ifade etmektedir.

Elde edilen veriler ile gerekli motor gücü gerekli birim dönüşümleri yapılarak Denklem 3.7 elde edilebilmektedir.

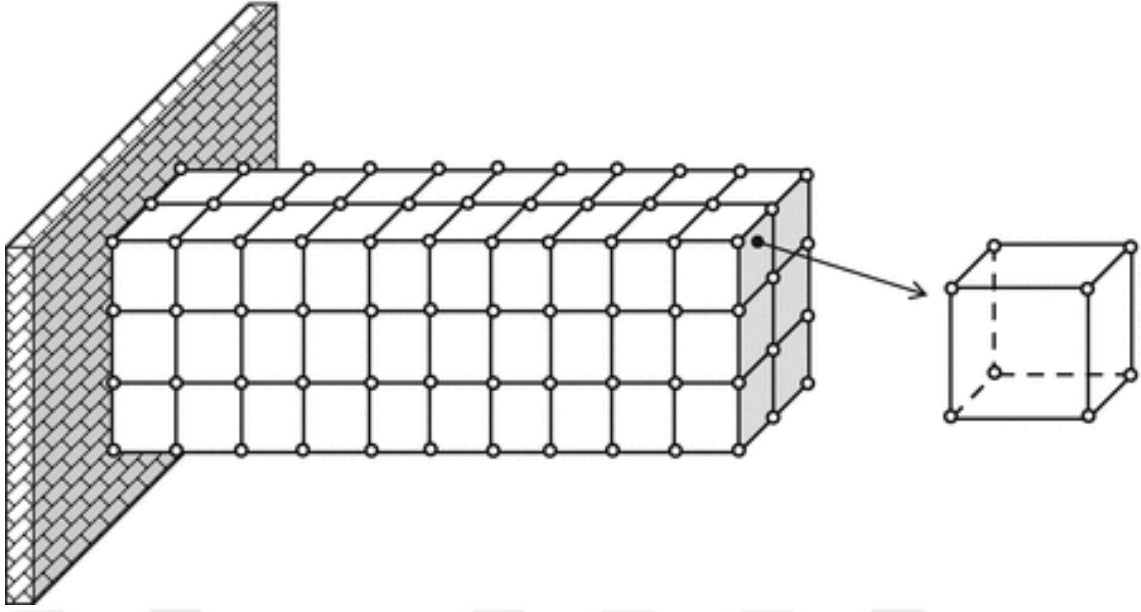
$$P_{motor} = P \cdot Q \quad (3.7)$$

Burada, P_{motor} motor gücü, P basınç, Q debi olarak ifade edilmektedir.

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Makine elemanları ve mukavemet biliminin temelini malzeme, parça geometrisi ve bu geometrinin yük altında davranışı oluşturmaktadır. Basit geometriye sahip makine parçalarının mukavemet hesapları temel matematiksel yöntemler ile hesaplanabilmektedir. Bu temel matematiksel modeller bilim dallarının temelini oluşturan literatür de yer alan teori, kavram ve bilimsel çalışma sonucu ortaya çıkan fizik temelli analitik formüllerdir. Bu formüllerin uygulanması için gelişen imalat yöntemleri, bilim ve mühendislik analitik olarak yeterli karşılığı sağlayamamaktadır. Karmaşık geometriler altında mukavemet ve malzeme davranışını incelemek için bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları ivme kazanmış ve gelişen teknoloji üzerinde etkin bir rol oynamaktadır. Hızlı tüketim ürünlerinden, savunma sanayi, otomotiv ve üretim üzerinde her alanda çeşitli bilgisayar destekli mühendislik (CAE) uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamaların en bilinen olanları bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) yazılımları olsa da gelişen teknoloji ile beraber yüksek katma değerli ürünlerin arka planında bilgisayar destekli analiz ve simülasyon yazılımları kullanılmaktadır.

Bilgisayar destekli analiz yazılımları arka planda kullandıkları yöntemler ile çeşitlilik göstermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) bu yöntemler arasında mekanik analiz ve simülasyon için en yaygın olan yöntemler arasında yer almaktadır. SEY ile makine parçaları analizi yapılacak geometri üzerinden belirli bir sayıya sahip yani sonlu elemanlara ayrılmakta ve bu elemanların mekanik davranışları hesaplanarak birimden bütüne yaklaşım yapılmaktadır. Şekil 3.3'de basit kiriş modeli üzerinde elemanlar gösterilmiştir. Elemanların kalitesi analiz sonucunun doğruluğunu doğrudan etkilemekte ve analiz kalitesini arttırmaktadır. ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, SolidWorks Simulation gibi SEY yazılımları ticari olarak kullanılan yazılımlardır.

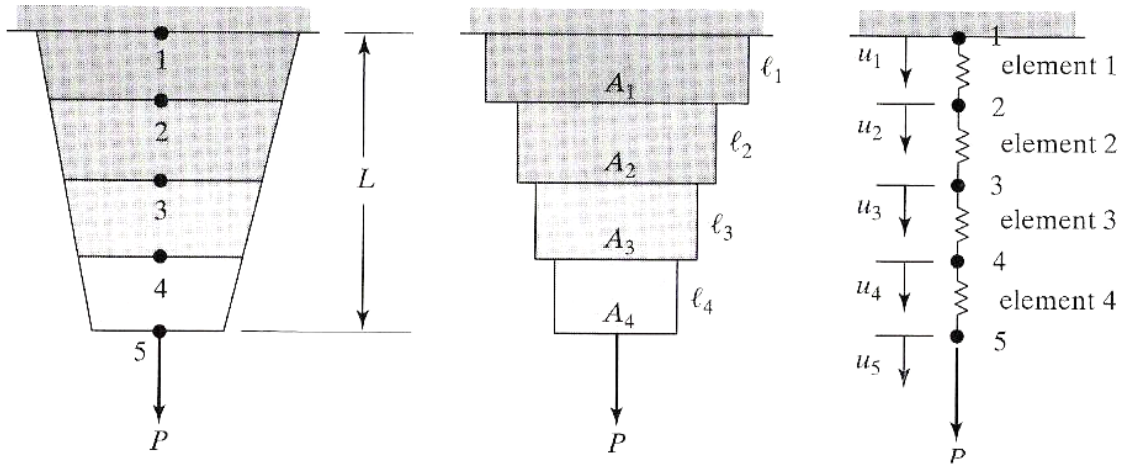


Şekil 3.3 Kiriş yapısının sonlu elemanlar modeli (Neto M.A., 2015)

3.2.1. Sonlu elemanlar analizi

SEY ile belirlenen şartlar altında herhangi bir geometriye sahip makine ya da parçanın davranışı gözlemlenmektedir. Analiz için başlıca gerekli iki unsur geometri ve malzeme olmaktadır. Yöntemin anlatıldığı kısımda yer aldığı şekilde geometri sonlu çözüm ağlarına(mesh) bölünerek her ağın yük altında davranışı, yükü aktarması incelenir ve eleman yapısına göre tek eksenli, iki eksenli ya da üç eksenli elemanlar ile çözüm tamamlanır.

SEY analizinin çözüm metodu tek eksenli bir eleman üzerinden açıklanmak gerekirse, doğadaki her malzemenin bir elastik kabiliyeti vardır. Gözle görünmeyecek seviyede de olsa her eleman yük altında boyutsal olarak değişiklik gösterir. Gerilme altında meydana gelen şekil değişikliği birim yer değiştirme olarak adlandırılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin ve deneysel gerilme analizlerin temelini bu teori oluşturmaktadır. Sonlu elemanlar modelinin oluşmasında Şekil 3.4'de yer alan örnek modelleme oldukça açıklayıcı olarak kullanılmaktadır. Model incelendiği zaman eleman sayısının artmasının doğruluk oranını arttıracığı da görünmektedir.



Şekil 3.4 Sonlu elemanlar yöntemi modeli (Moaveni,1999)

Malzemenin elastik kabiliyeti üzerinden Denklem 3.8'deki formülasyon ile ilerleyecek olursak, k elastisite modüllü bir malzemenin kuvvet altında yer değiştirmesi hesaplanabilir. Direngenlik denklemi olarak da bilinen denklem üzerinden oluşan direngenlik matrisinin çözümü ile SEY ile sonuç elde edilir.

$$F_{yay} = k \cdot x \quad (3.8)$$

Burada, F kuvvet, k direngenlik katsayısı, x yer değişimi olarak ifade edilmektedir.

Yük altında malzemede meydana gelen yer değişimi birim yer değiştirme olarak değerlendirildiğinde, gerilme ile birim yer değiştirme arasında ki Denklem 3.9 'da yer alan bağıntı kullanılarak malzemenin davranışı daha somut veriler ile yorumlanabilmektedir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.9)$$

Burada, E elastisite modülü, σ akma gerilmesi, ε birim yer değişimi olarak ifade edilmiştir.

Basite indirgenmiş olarak anlatılan metodun çözümü için matris sistemleri ile analitik yaklaşımlar elde edilebilmektedir. Yazılımların arka planlarında da bu yaklaşım ile sonuçlar elde edilmektedir.











Birim yer değiştirme değerleri ile elde edilen total deformasyon grafikleri de malzemede meydana gelecek toplam yer değişimini ve sehim değerlerini göstermektedir. Gerilme ve birim yer değiştirme sonuçları ile beraber bu çalışmada ve SEY analizlerinde sıklıkla yorumlanan verilerdir.

Analiz için gerekli bir diğer husus ise sınır Şartlarını belirlemek olmaktadır. Fiziksel olarak tanımlanacak hareketli ya da sabit bağlantılar, uygulanacak kuvvet, basınç gibi yükler sınır Şartı olarak belirlenmekte ve analiz çözümü için gerekli parametreler olmaktadır. Analiz edilecek modele etki edecek yükler kadar modelin sabit geometrilerinin belirlenmesi de önem arz etmektedir. Doğru bir model için sınır Őartlarının doğru olması zorunludur.

3.2.2. özüm ağı (mesh) geometrisi

SEY analizlerinde çözüm için gerekli olan elemanlar çözüm ağı ya da mesh olarak adlandırılmaktadır. Uygulama Şekline göre bir boyutlu tek eksenli elemanlar, iki boyutlu yüzey elemanları ve üç boyutlu katı elemanlar en çok kullanılan elemanlar olmaktadır. Gerçek modele yakın modeller ile doğruluk payı yüksek sonuçlar elde edilmektedir. Bu sebeple gerçek model üç boyutlu olduğu için katı modeller ön plana çıkmaktadır. Fakat uygulama Şekline göre diğer modeller de yaygın olarak kullanılmakta, zaman ve performans olarak ciddi avantajları bulunmaktadır. Örneğin elik profillerden oluşan (bir ekseninde kesit geometrisi değişmeyen) bir yapının analizi için iki boyutlu elemanlar ile çözüm sağlanmakta ve malzemenin karakteristik özellikleri iki boyutlu elemanlar üzerinden çözüm katı elemanlar ile aynı sonucu vermektedir. Yazılımların güncel versiyonlarında bu ayırım otomatik olarak yapılıp çözüm öyle sağlanmaktadır. Bazı yazılımlarda arka planda yapılan iki boyutlu modelleme kullanıcıya yansıtılmazken bazı yazılımlarda bu elemanlar görülebilmektedir.

Boyutsal olarak e ayrılan elemanlar Şekil, tip ve derecesine göre de sınıflandırılabilir. Mesh üretimine göre ayrılan bazı elemanlar Şekil 3.5 'de gösterilmiştir.

boyut	el. derece.	eleman şekli	eleman tipi
1D (çğri)	lineer		kiriş
	kuadratik		kiriş
	kübik		kiriş
2D (alan)	lineer		tabaka, kabuk
			
	Cubic		
3D (hacim)	lineer		
	kuadratik		

Şekil 3.5 Mesh üretiminde kullanılan bazı elemanlar (Pişkin,2002)

3.2.3. Doğrusal statik analiz

Analiz şartları altında malzemenin yer değiştirmesinin malzemenin elastik sınırını aşmadığı durumlarda uygulanan analiz tipi doğrusal(lineer) analiz olarak tanımlanmaktadır. Malzeme ve yük altında davranışın doğrusal olması durumunda ve plastik deformasyon, elastik malzemeler (kauçuk vb.) ve bu malzemelerin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışları olmaması durumunda uygulanan analiz yöntemidir.

Öte yandan hareket durumuna göre statik ve dinamik olarak analizleri ayırmak da mümkündür. En basit tanımı ile anlık yük altında gerçekleşen analiz tipi statik, zamanla değişen yük altında gerçekleşen analiz tipi dinamik analiz olarak adlandırılabilir.

Yatay katot levha sıkıştırma presi, presler ve benzer sistemlerde olduğu gibi, sıkıştırma esnasında oluşacak hidrolik güç ünitesinin sağlayacağı basınç altında oluşan yükün etkisine maruz kalmaktadır. Bu yük sistemin çalışma döngüsü ve kullanım

şartları altında karşılaşacağı anlık ve dinamik yüklere oranla daha yüksek olmaktadır. Bu sebeple tez çalışmasında, yükleme durumu, malzeme ve hareket göz önüne alınarak doğrusal statik analiz yapılmıştır.

3.3. Hidrolik Sistem Modeli

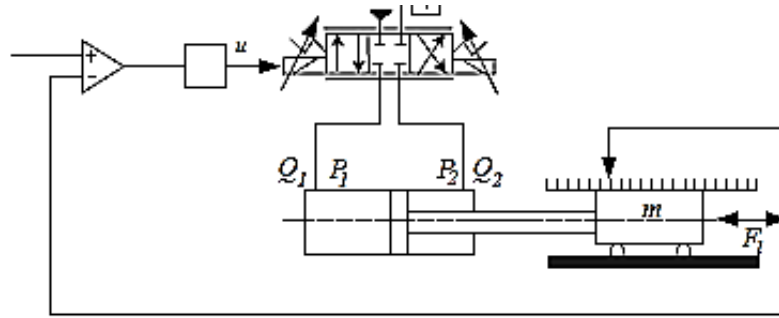
Sıkışma kabiliyeti, viskozitesi ve iş akışkanı olarak kullanılabilme özelliğine sahip hidrolik sıvılar hidrolik sisteminin temelini oluşturmaktadır. Hidrolik sıvının sıkışmasını sağlamak için kullanılan pompalar tarafından silindire aktarılan basınç yardımıyla elde edilen hareket akışkanın sıkışma basıncı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu akışkanın yönlendirilmesi ile piston hareketi ileri ve geri olarak değişmekte ve bu yönlendiricilere valf adı verilmektedir. Hidrolik bileşenlerin yer aldığı sistemin tasarımı, üretimi, hesapları, simülasyonu ve kontrolü için CAE uygulamaları yapılmaktadır. SimHydraulic, FluidSIM gibi ticari yazılımlar ile modelleri oluşturmak mümkündür.

Hidrolik sistem modelleri sisteme pompa aracılığı ile akışkan özellikleri (basınç ve debi) girişi ile oluşturulmaktadır. Sistem tarafından elde edilecek hidrolik piston üzerinden modelin çıktı verileri alınmaktadır. Bu verilerin başında, kuvvet, basınç, strok süresi gelmektedir. Hidrolik sistemlerin elektrik otomasyon destekli kontrolü, endüstri 4.0 ve gelişen uygulamalar için teknoloji destekleri, arıza ve onarım için yardımcı ekipmanların kullanımı gibi gelişme alanları için hidrolik modellerin oluşturulması ve kullanılması günden güne artmaktadır.

3.3.1. Oransal kontrollü valf

Hidrolik sistemlerin uzun yıllar boyunca kullanılması ve kullanılmaya devam etmesi geçmişten günümüze güncelliğini koruyan literatürü, artan verimi ve avantajları ile mümkün olmuştur. 21. yüzyıl içerisinde makinelerin ve sistemlerin akıllanması, otomatikleşmesi mühendislik uygulamalarını ön plana çıkarmış ve makine ihtiyaçlarını arttırmış durumdadır. Hidrolik sistemler üzerinden de kontrol önem arz etmekte ve en avantajlı yönü ürettikleri kuvvetler olan sistemlerin kontrolü kolay olmamaktadır. Bu sistemlerin en basit kontrol yöntemi hidrolik sistemin kaynağı akışkanın kontrolü ile sağlanmaktadır. Çeşitli uygulamalar ile makinelerin verimi, fonksiyonu ve güç tüketimi üzerinden ciddi avantajlar sağlanmaktadır. Hidrolik sistemlerin en kolay kontrol mekanizmaları yön valfleri üzerinden sağlanmaktadır. Pistonların hareketini sağlayan valflerin kısmi hareketleri ile akışkanın basıncı, debisi gibi karakteristik özellikleri

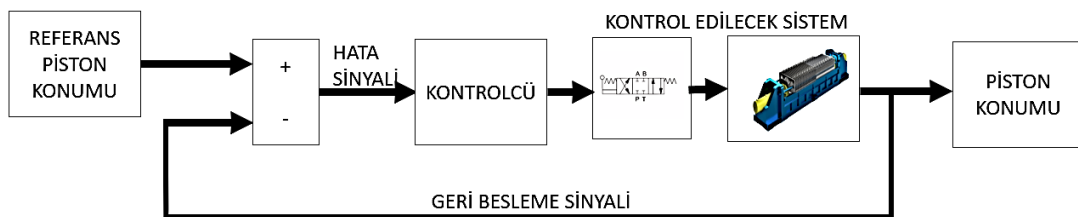
rahatlıkla değiştirilebilmektedir. Elektrik sinyali ile konumu ayarlanabilen valf olarak adlandırılan oransal yön valfleri, mekanik valf ve valfin mekanik hareketini elektronik karttan meydana gelmektedir. Şekil 3.6’da oransal valflerle sistem kontrolüne ait örnek bir şematik resim verilmiştir.



Şekil 3.6 Oransal valf kontrolü şematik modeli (Rexroth,2012)

3.3.2. Kapalı çevrim (closed loop) sistem kontrolü

Gelişen endüstri uygulamalarında kontrol sistemlerinin önemi gitgide artmakta ve otomasyon sistemlerinin gelişmesinde önemli ol oynamıştır. Sistem kontrol mantığı referans olarak verilen sinyalin sistemin tepkisi olarak alınması ile özetlenebilir. Kapalı çevrim kontrol sistemi geri beslemeli denetim sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Sistemin mantığı referans olarak verilen giriş sinyaline sistemden alınan çıkış değeriyle geri besleme yapılır. Yapılan geri besleme ile referans giriş sinyali karşılaştırma yapılır ve hata değeri olarak adlandırılan değeri elde edilir. Referans sinyali ile çıkış sinyali hata sinyalinin yapısına göre uygun bir sinyal ile kontrol edilir. Bu sinyal düzenleyerek hata değerini minimuma indirmek için görev yapan kontrolcüler ile sistem tamamlanır. Şekil 3.7’de kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı ile anlatılmıştır. Blok diyagramı üzerinde kontrolcü hata sinyalini denetlemek üzere sinyal devamına ilave edilmektedir. Kontrolcü tarafından sağlanan sinyal sistemi beslemektedir.



Şekil 3.7 Kapalı çevrim sistemi blok diyagramı

3.3.3. PID kontrolcü

Endüstriyel kontrol sistemlerinde gelişen uygulama alanları ile beraber beklenti günden güne artmaktadır. Hassas kontrol için sistemin kontrol yanıtı kadar tepki süresi ve kararlı davranması da önem arz etmektedir. Bu kararlılığı sağlamak amacıyla referans olarak alınan sinyal ile sistemin tepkisi karşılaştırıldıktan sonra Şekil 3.7’de belirtilen hata sinyalinin ortadan kaldırılması için kontrolcü ile sistem kontrol edilmektedir. Bu kontrolcülerden en güncel olanı matematiksel döngüler kullanarak sistemleri kontrol etmeyi amaçlamaktadır. PID (Oransal-İntegral-Türevsel) İngilizce olarak oransal, integral ve türevsel kelimelerinin kısaltmalarından oluşan bir kavram olarak kullanılmaktadır. İsminden anlaşıldığı üzere referans sinyal ile sistemin yanıt sinyalinin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan hata sinyaline matematiksel çarpanlar ile müdahale ederek hata sinyalini minimuma indirmek üzere sisteme ilave edilir. Bu kontrolcünün çalışmasında önemli olan $K_p - K_i - K_d$ kazanç parametrelerinin belirlenmesidir. Bunu belirlemek için sistemin minimum tepki süresi ile minimum hatayı elde eden kararlılığı bulmak gerekir. Bu katsayıların belirlenmesinde analog ve deneysel yöntemler ile uygulama yapılmaktadır.

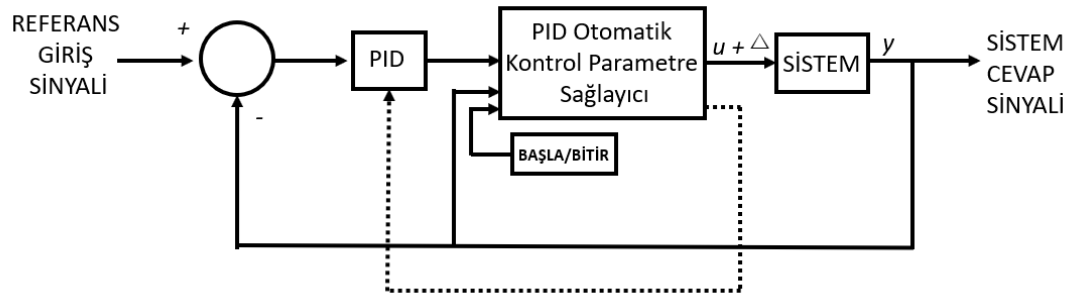
$$u_{(t)} = K_p e_{(t)} + K_i \int e_{(t)} dt + K_d \frac{d}{dt} e_{(t)} \quad (3.10)$$

Burada, $u_{(t)}$ kontrol sinyali, K_p oransal kontrolcü kazanç katsayısı, $E_{(t)}$ hata sinyali, K_i integral kontrolcü kazanç katsayısı, K_d türevsel kontrolcü kazanç katsayısı olarak ifade edilmektedir.

Denklemler 3.10’da verilen matematiksel algoritma ile sistemdeki hatayı minimum seviyeye indirmeye çalışan PID kontrolcü katsayılarının işlevleri farklı olarak sisteme etki etmektedir. Denklemlerde katsayılar ile beraber $e_{(t)}$ hata değerini göstermektedir. $u_{(t)}$ denklemi kontrolcü tarafından sisteme gönderilen sinyaldir.

Oransal kontrol katsayısı sistemin cevap hızına ve duyarlılığına doğrudan etki etmektedir. İntegral katsayısı giriş sinyali ile hata sinyali arasındaki alanı hacimsel olarak düzeltme eğiliminde çalışır. Türevsel katsayı ise hatanın değişim hızına bağlı olarak sistemi kontrol etmektedir. Sistemin kararlılığına etkisi vardır. Bu üç temel kontrol mantığının yer aldığı gelişmiş kontrolcü sistemi olarak PID kontrol hassas sonuçların elde edildiği çoğu sistemin arka planında başarılı olarak çalışmaktadır.

PID Kontrol için gerekli kontrolcü parametrelerinin tespit edilmesi çeşitli yöntemler ile sağlanmakta ve bu yöntemler üzerinden yaklaşımlar ile optimum değerler elde edilmektedir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin başında MATLAB Simulink yazılımı içerisinde yer alan kontrol modülü üzerinden parametreler için optimizasyon yapılmıştır. Şekil 3.8’de verilen yaklaşım ile sistem kontrolcüsünü test eden algoritma ile yazılım optimum katsayıları elde etmek üzere arka planda faaliyet göstermektedir. Kontrolcü tarafından sisteme iletilen giriş sinyalini u olarak tanımlayan Mathworks bu sinyal üzerinden kararlılık elde etmek üzere sisteme sinyal göndermektedir. İlk olarak gönderilen tahmin sinyalinin sistem tarafından verilen yanıtına göre optimum parametreleri elde etmek üzere düzenlemeleri gerçekleştirmektedir. Elde edilen parametreler üzerinden katsayılar üzerinden sistem yanıtını optimum tepkiler ile hata sinyalini minimuma indirerek sistem kontrolcü modeli oluşturulacaktır. (Mathworks Documents,2017)



Şekil 3.8 MATLAB Control toolboxı kontrolcü altyapısı

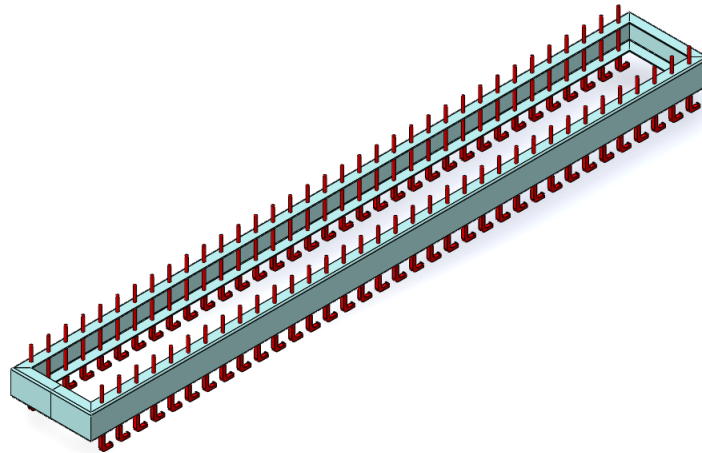
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yatay katot levha sıkıştırma presi (YKLP) sistem tasarımı, sonlu elemanlar yöntemi (SEY) analizleri ile sistem tasarımının doğrulanması, sistemin hidrolik modellenmesi ve konum kontrolü çalışmaları yapılmıştır. Yapılan tasarım sonucunda tasarım modeli oluşturulmuştur. Oluşturan tasarım modeli üzerinden bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları SEY ile SolidWorks Simulation yazılımı üzerinden tamamlanmıştır. Ardından hidrolik sistemin modellenmesi MATLAB SimHydraulic yazılımı üzerinden oluşturulmuştur. Oluşturulan hidrolik modele MATLAB SimMechanics yazılımı üzerinden oluşturulan katı model entegre edilmiştir.

Modellenen sistem üzerinden referans giriş sinyaline göre konum kontrolü yapılmıştır. Yapılan konum kontrolü iki farklı senaryo için yük altında ve katı model ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presi Tasarımı

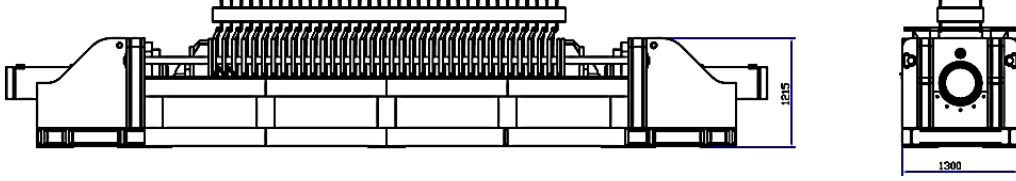
YKLP kullanım yeri ve şekli gereği elektroliz üretim tesislerinde kullanılmakta olan tankhouse crane adlı vinçlerin koyup alabileceği şekilde, mevcut askı aparatlarına uyumlu olması gerekmektedir. Şekil 4.1’de kullanılan askı kancasının tasarım modeli verilmiştir.



Şekil 4.1 Tankhouse crane askı kancası tasarım modeli

Yaklaşık ölçüleri 1000x1000 2-8 mm kalınlığındaki katot plakalarının 70 mm aralıklı kalıp plakalarının arasına 35 adetli setler halinde konması gerekmektedir.

Kalıp plakalarının kalınlığı 40 mm olarak öngörülmüştür. 35 adet plaka için ayrılan boşluk ve plaka kalınlıkları ile beraber makinenin boyutları belirlenmiştir. Şekil 4.2’de gösterilen tasarım ile her bir silindir için strok uzunluğu 1250 mm olarak belirlenmiştir.

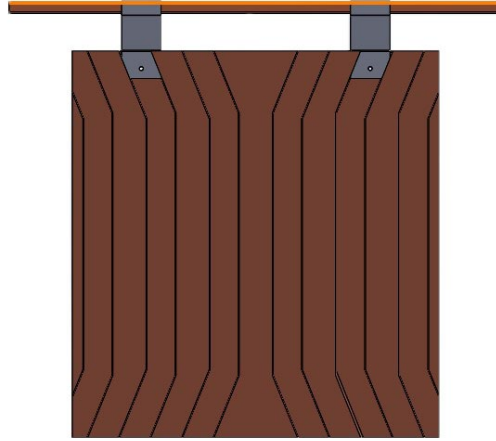


Şekil 4.2 YKLP Tasarım boyutları ve yerleşimi

Elektroliz işlemi için YKLP de sıkıştırılmak üzere getirilecek olan plakalar ve ortam yüksek yoğunlukta sülfürik asit ile temas etmektedir. Bu sebeple plakaların 1.4401(AISI316) kalite olması talep edilmektedir. Malzeme ile doğrudan temas eden, Kalıp plakaları ve ST37’den imal edilecek şasenin 1.4401 Malzeme ile kaplanacak şekilde tasarlanmıştır. Kalıp plakaları Kulaklarından kılavuz mili ile hizalı şekilde hareket ederken, POM kızaklar üzerinde kayarak ihtiyaç duyulacak sürtünme kuvveti çalışma ortamına uygun olarak minimum seviyede tutulmuştur. Aynı şekilde PP malzemedan imal edilen yataklar ile kılavuz milindeki metal/metal teması engellenmiştir. Makinenin toplam şase uzunluğu 7800 mm olarak tasarlanmıştır. Sıkıştırma esnasında yüke maruz kalacak piston kafaları ve pistonun sabitlendiği gövde baş kısımları örgülü plakalar ile güçlendirilmiştir.

Makinenin sağlaması gereken güç U formdaki Şekil 4.3’de gösterilen 2 mm derinliğindeki bükme işlemini 35 adet plakada gerçekleştirmek üzere hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için Denklem 3.5 kullanılmıştır. 120 mm genişliğinde plaka boyunca 7 adet form verilmek istenmektedir.

$$F_{bükme} = \frac{0,667 \cdot 350 \text{ N/mm}^2 \cdot (1000 + 200) \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}^2}{120 \text{ mm} \times 6 \text{ Adet}} \cdot 35 \text{ Ad.} = 871,51 \text{ kN}$$



Şekil 4.3 Katot levhaların proses sonrası şekil verilmiş hali

Yatay plakaların hareketi için sürtünme kuvveti de hidrolik sisteme karşı koymaktadır. Sıkıştırma kuvveti ile beraber bu kuvvet de hesaba katılmıştır. Denklem 4.1’de belirtilen formül ile kuvvet hesaplanmıştır. Yapı çeliği – POM(Delrin) arasındaki sürtünme katsayısı ortam kirliliği de dikkate alınarak 0,6 alınmıştır. (E. Russell Johnston, Jr, 2001)

Kafa plakalarının ağırlıkları 1600 kg, sıkıştırma plakalarının ağırlıkları 400 kg’dır. Bakır plakalar asılı iken askı çubukları ile beraber toplam ağırlıkları maksimum 5000 kg’dır.

$$F_{\text{sürtünme}} = N_{\text{plaka}} \cdot \mu \quad (4.1)$$

$$F_s = (1600 \times 2 + 400 \times 34 + 5000) \times 9,81 \times 0,6 = 128,34 \text{ kN}$$

Sistemin sıkıştırma hareketi için ihtiyacı olan toplam güç ;

$$F_{\text{toplam}} = F_{\text{bükme}} + F_{\text{sürtünme}} = 871,51 + 128,34 = 999,85 \text{ kN} = 102 \text{ ton}$$

Ütüleme işlemi için gerekli kuvvet ihtiyaç duyulan kuvvetin uygulama süresi 10 sn olarak belirlenmiştir. Tasarımın emniyet katsayısı da 1,8 olarak belirlenmiş ve emniyetli toplam yük belirlenmiştir. (İstif, 2004)

$$F_{KLP} = F_{toplama} * 2 * 1,8 = 367,2 \text{ ton}$$

4.1.1. Hidrolik sistem tasarımı

YKLP için belirlenen 1250 mm strok uzunluğunda iki adet silindirin 60 sn'de ileri hareketini tamamlaması gerekmektedir. Toplam proses süresinin de 120 sn olması gerekmektedir.

Sistem tasarımı için fiyat, ürün çeşitliliği, ekipmanlarının kolay bulunurluğu açısından 250 bar basınca sahip pompa kullanılmıştır ve sistem ona göre tasarlanmıştır.

250 bar basınç altında belirlenen yükü sağlamak için gerekli piston iç çapı Denklem 3.1'de gösterilen şekilde belirlenmiştir.

$$\frac{3600 \text{ kN}}{2 \text{ PISTON}} = 250 \text{ bar} \times \left[\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right] \Rightarrow D = 302.88 \text{ mm}$$

300 mm iç çapına sahip silindirin 250 bar için gerekli et kalınlığı Denklem 3.2 kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplama esnasında test değeri 300 bar dikkate alınmış ve ST37 Malzemedan imal edilen silindir için 2 kat emniyetli kalınlık hesabı aşağıda yapılmıştır. Emniyet katsayısı Çizelge 3.1 de verilen tabloya göre tayin edilmiştir.

$$t_{\text{silindir}} = \frac{300 \text{ bar} \times 150 \text{ mm}}{2 \times 235 \text{ MPa}} \times 2 = 19,9 \text{ mm}$$

Elde edilen sonuca göre silindir cidar kalınlığı bulunabilir malzeme et kalınlığı 25 mm olarak tayin edilmiştir.

4.1.2. Hidrolik güç ünitesi tasarımı

Hidrolik güç ünitesi (HGÜ) YKLP için 2 adet 300 mm çapında 1250 mm uzunluğunda silindirin 250 bar basınç altında 60 saniyede ileri strok hareketini sağlayacak HGÜ ihtiyacı belirlenmiştir. Bu ihtiyaç için gerekli debi Denklem 3.6 üzerinden belirlenmiştir.

$$Q = \frac{300 \text{ mm}^2 \times \frac{3,14}{4} \times 1250 \text{ mm}}{60 \text{ sn}} \cdot 2 = 176 \frac{\text{Lt}}{\text{dak}}$$

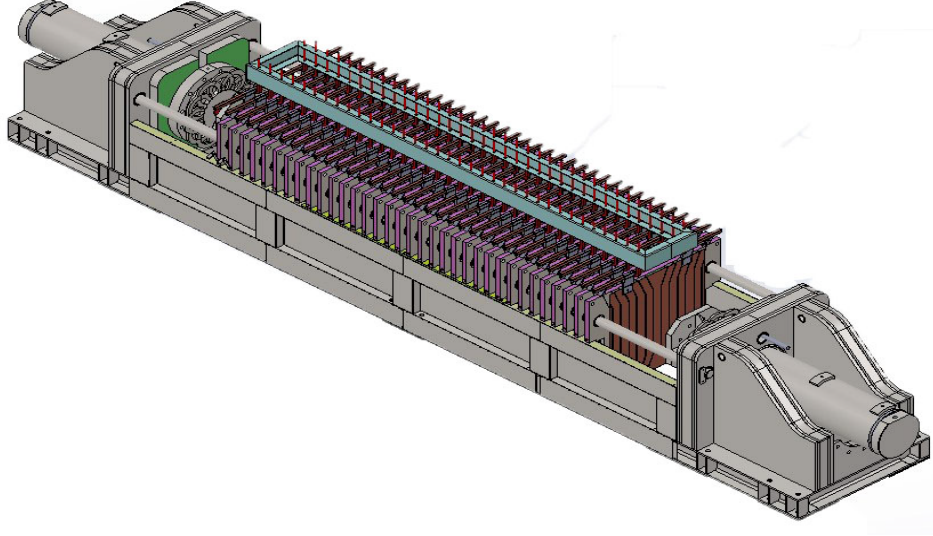
HGÜ için gerekli elektrik motor güç hesabı Denklem 3.7'ye göre yapılmıştır.

$$P_{motor} = 250 \text{ bar} \times 176 \frac{\text{lt}}{\text{dak}} = 73,33 \text{ kW} \Rightarrow 75 \text{ kW}$$

73,33 kW çıkan hesaplama sonucunca göre motor üreticilerinin belirlediği standart değerler arasında 75 kW elektrik motoru seçilmiştir. (GAMAK, 2019)

4.2. Yatay Katot Levha Sıkıştırma Presi Yapısal Analizi

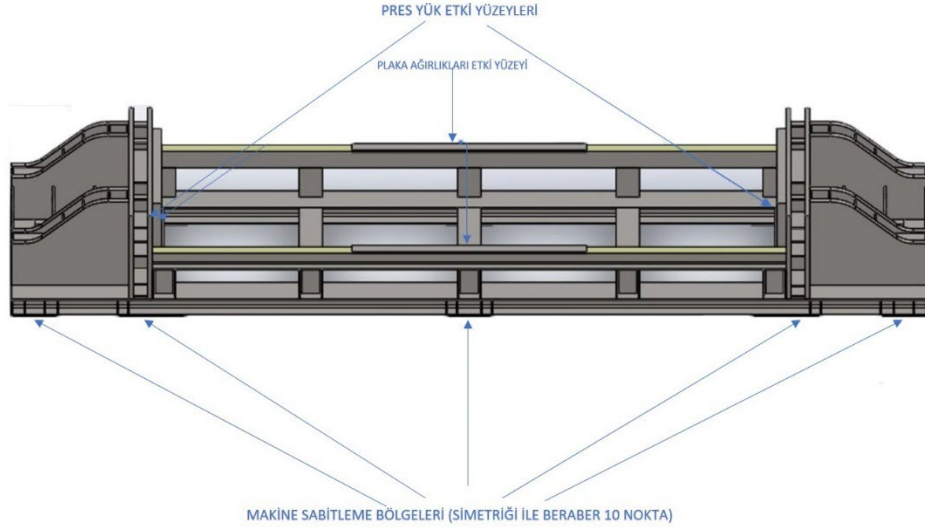
180 ton kapasiteli iki zıt konumlu piston ile sıkıştırma fonksiyonunu yerine getirecek olan YKLP üç boyutlu tasarım modeli Şekil 4.4'de verilmiştir. Presin şasesinin yük altında davranışı gözlemlenmek amacıyla lineer statik analiz yapılmıştır. Analiz esnasında makinenin sınır şartları, sıkıştırma plakalarının ağırlıkları modele dahil edilmiştir.



Şekil 4.4 YKLP CAD Modeli

Analizin doğruluğu, mevcuttaki bilgisayar kapasitesi ve işlem süresinin optimum seviyelerde olması sebebiyle analizde kullanılacak tasarım modeli üzerinden gerekli hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Model üzerinde mekanik davranışa etki etmeyecek unsurlar, geometriler ile model basitleştirilerek analizin doğruluk ve zaman

üzerine verimi arttırılmalıdır. Bu sebeple kullanılacak model üzerinden gerekli sadeleştirmeler yapılmış, Şekil 4.5’de YKLP SEY modeli verilmiştir.



Şekil 4.5 YKLP SEY modeli

Ayrıca, analizin doğruluğunu ve sonucunda elde edilecek olan verilerin sağlıklı incelenmesi için tüm montajı tek seferde incelemek yerine makine parçaları ayrı ayrı incelenerek çalışma yapılmıştır. Makine şasesi, hidrolik silindirlerin yükü ilk aktaracağı pres kafaları parçaları üzerinden yapılan analizler ayrı ayrı incelenmiştir.

Şase malzemelerini oluşturan bağlantılar kaynak bağlantısı olması sebebiyle ilgili yazılımlarda ayrıışmayan şekilde bağlantılı (bonded – yapışmış vb.) tanımlanmıştır.

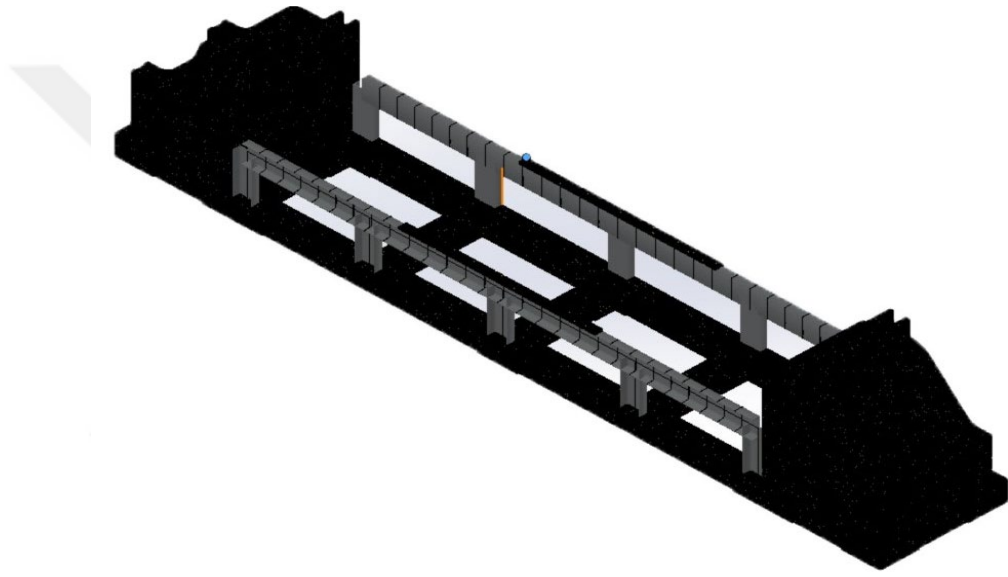
4.2.1. Şasenin statik analizi

Şasenin statik analizi için Şekil 4.4’ de verilen model üzerinden çalışma yapılmıştır. Makinenin sabitleme yerleri sabit geometri olarak modele eklenmiş, çift pistonun oluşturacağı yük ile beraber orta kısımda yer alan plakaların ağırlıkları sistem modelini oluşturmuştur. Doğrusal statik analiz yöntemi ile sonuçlar alınmıştır.

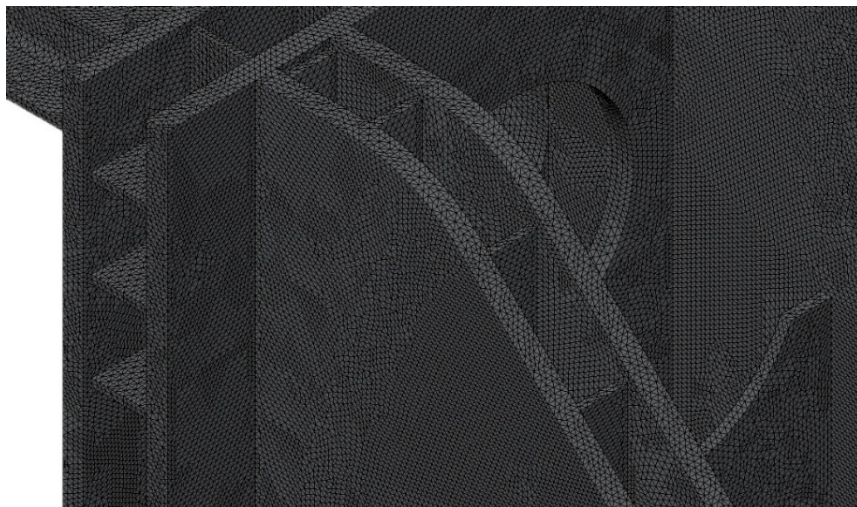
Analiz için hazırlanan şase modeli çözüm ağı ile birlikte Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.5 de verilen model kirişler iki boyutlu (2D) geometri için üç boyutlu (3D) katı mesh yöntemi ile modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar eşdeğer gerilme – birim yer değiştirme ilişkisi ile sonuç grafiklerinde gözlemlenmiştir.

Eğrilik tabanlı eleman yapısı kullanılarak oluşturulan çözüm ağı için çarpıklık uygulama metodu olarak maksimum 1,2 olarak belirlenmiştir. Model içerisindeki

eleman boyutu 5mm olarak belirlenmiştir. Bu boyut belirlenirken tasarımdaki en küçük geometri kesit kalınlığı dikkate alınmıştır. Modelleme üç boyutlu katı elemanlar kullanılarak yapılmıştır fakat SolidWorks Simulation yazılımı modelleme esnasında uzunluk boyunca kesit geometrisi değişmeyen profil/kiriş elemanlarını iki boyutlu olarak modelleyerek üç boyutlu atalet geometrisinde çözüm sunmaktadır. Çözüm doğruluğuna ve hassasiyetine engel olmayan bu durum yazılım performansını arttırmıştır. Oluşturulan iki boyutlu modeller çözüm ağı modeli içerisinde üç boyutlu olarak gösterilebilmekle beraber eleman sayısı temsili gösterilmektedir. Şekil 4.6’de üç boyutlu katı eleman detayı gösterilmiştir.



Şekil 4.6 YKLP SEY şase çözüm ağı modeli



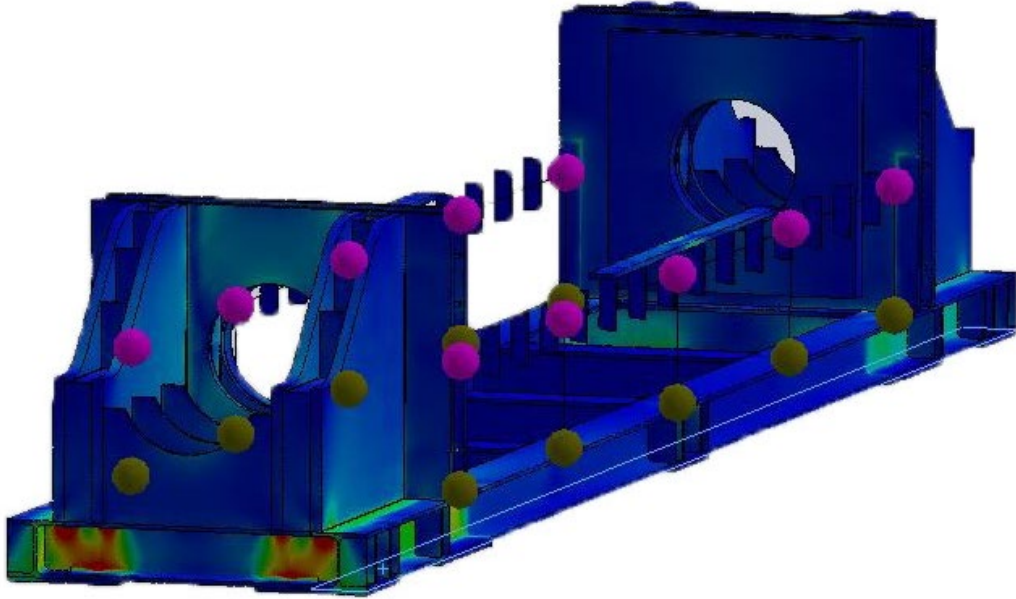
Şekil 4.7 YKLP SEY şase çözüm ağı modeli –mesh eleman detayı

Şase malzemesi ST37 olarak belirlenmiştir. SEY ile analiz için Çizelge 4.1’de verilen mekanik özellikleri kullanılmıştır. Model emniyetli taşıma yükü olan 270 ton yük altına analiz edilmiştir. Oluşan değerler emniyetli gerilme değerleri olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1 ST37 malzeme mekanik özellikleri

Malzeme özellikleri	ST37
Akma mukavemeti (MPa)	235
Çekme mukavemeti (MPa)	360
Birim şekil değiştirme kabiliyeti	%20
Young modülü (GPa)	210 .10 ³
Poisson oranı	0.27
Yoğunluk (ton/m ³)	7.85

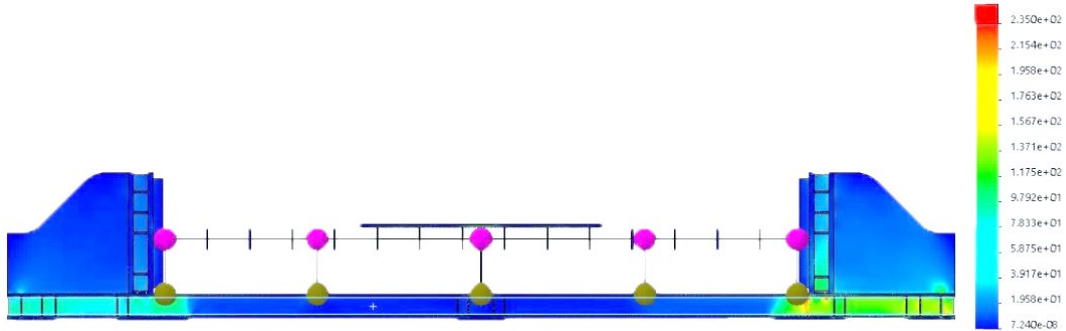
Analiz çalışması sonucunda elde edilen gerilme grafiği Şekil 4.8’da verilmiştir.



Şekil 4.8 YKLP SEY analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı

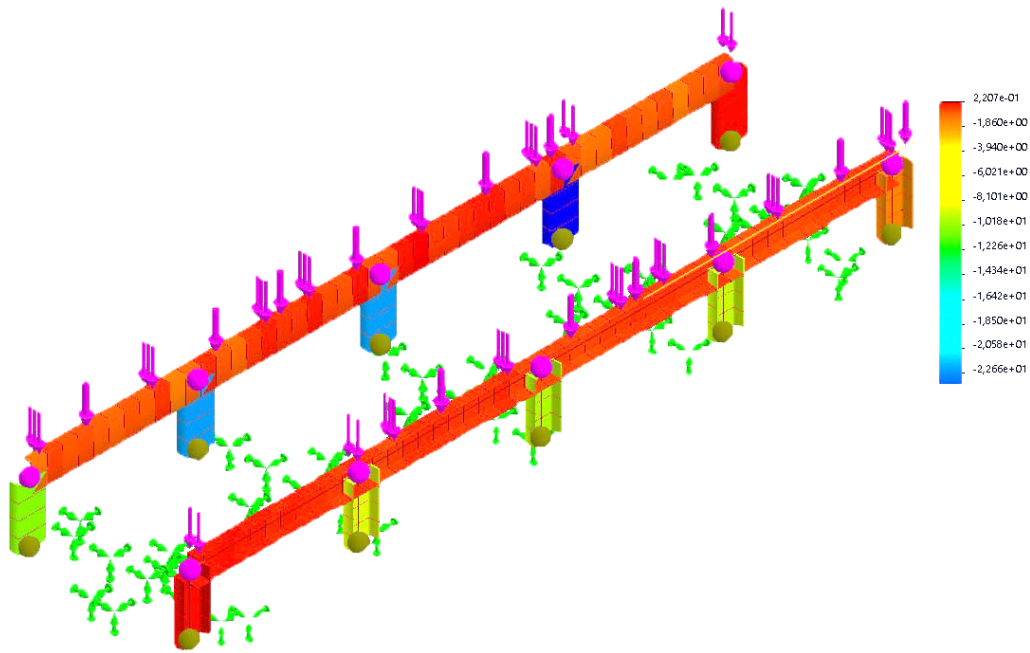
Analiz sonucu elde edilen verilerin yorumlanması için akma dayanımı üzerinden grafik incelenmek üzere hazırlanan gerilme dağılımı Şekil 4.9’da verilmiştir. Makine simetrik yapıya sahip olduğu için gerilme dağılımının 1/2 kesitinde incelenmesinde herhangi bir sakınca yoktur. Makine geometrisi ve etki eden sınır şartları tamamen simetrik olarak uygulanmıştır. Grafiğin değerlendirilmesi için renk çizelgesinde

maksimum akma dayanımı gözlemlenmek istenmiştir. Böylece makineye etki eden maksimum yük ve gerilme noktaları belirginleşmiştir. Vonmises eşdeğer gerilme kriterine göre elde edilen dağılım ile beraber kiriş ve profil elemanlarının iki boyutlu modellenmesi sonucu elde edilen aksel gerilme grafik Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9 YKLP SEY analiz sonucu akma dayanımına göre elde edilen gerilme dağılımı

Elde edilen gerilme dağılım grafiğinde maksimum gerilme 250 MPa olarak gözlemlenmiştir. 235 MPa üzeri gerilmenin dağılımının arttığı bölgesel noktalarda yük dağılımı ve makinenin sabit bağlantı noktalarına yük aktarımı görülmüştür. 1,5 kat emniyetli yük altında yapılan analiz sonucunda tasarımın uygunluğu görülmüştür. (Çizelge 3.1)



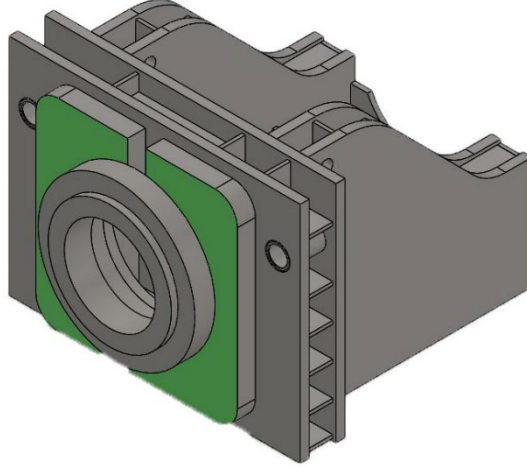
Şekil 4.10 YKLP SEY analiz sonucu 2D Kiriş elemanların aksel gerilme dağılım grafiği

Kiriş elemanlarına etki eden yük kalıp plakalarının ağırlığı ve kafalarda meydana gelen esnemelerden kaynaklı olarak ortaya çıkan gerilme Şekil 4.10'da görülmektedir. Maksimum emniyetli gerilme 220 MPa olarak gözlemlenmiştir. Emniyetli gerilme değerinin akma mukavemet değerinden düşük olması sebebiyle herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir. Grafikte kırmızı renkli alanlar ortalama 200 MPa üzerinde seyir etmesi emniyetli gerilme analizi yöntemi ile sistem modellediğimiz için sorun teşkil etmemektedir. Modelleme esnasında emniyetli gerilme metodu gerilme değerlerinin emniyet katsayısı ile orantılı olarak elde edileceği için kritik noktaları emniyetli gerilme şeklinde verilmiştir. Veri analizi ve yorumlama kolaylığı açısından bu yöntem tercih edilmiştir. Kritik noktalarda elde edilen iki kat gerilme farkı gözlem ve inceleme yeteneğini arttırmaktadır.

4.2.2. Kafaların statik analizi

Hidrolik pistonların sabit olarak konumlandığı, hidrolik sistemin oluşturacağı yükü makine şasesine dağıtarak aktaran geometrik yapıya kafa adı verilmiştir. Simetrik olarak zıt konumlu yer alan pres kafalarının analizi için tek analiz yapılmıştır.

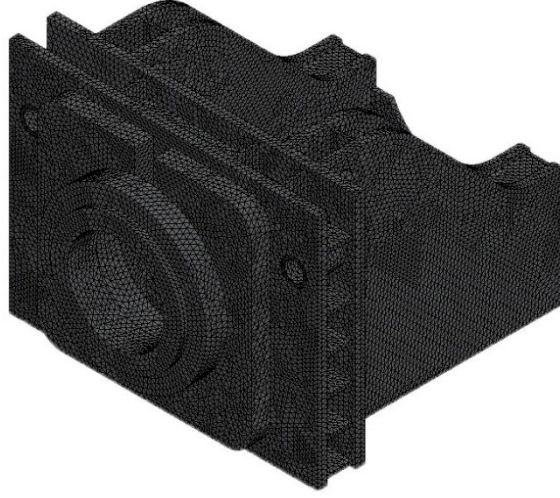
Analiz için şase bağlantı noktalarından sabitlenen sonlu elemanlar modeli Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 YKLP pres kafasının SEY için hazırlanan analiz geometrisi

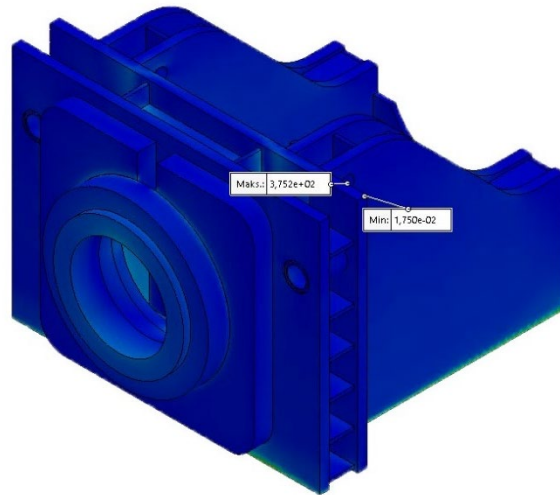
Doğrusal statik analiz için hazırlanan model pres şase analizi için kullanılan yöntemle çözüm ağı modeline dönüştürülmüştür. Şekil 4.12'de verilen çözüm ağı

modeli için maksimum üç boyutlu mesh boyutu için 10 mm belirlenmiş, eğrilik tabanlı mesh geometri çarpıklık katsayısı 1,2 olarak sınırlandırılmıştır.



Şekil 4.12 YKLP pres kafasının çözüm ağı modeli

Emniyetli yük altında yapılan analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı Şekil 4.13’de verilmiştir. Şekilde yer alan görsel renk dağılımı için maksimum ST37 malzeme için belirtilmiş olan 235 MPa akma dayanımı kırmızı olarak belirlenmiş olup mavi renkten kırmızı renge doğru gerilme artışı ifade edilecek şekilde sonuçlar görsel olarak alınmıştır. (Çizelge 4.1)



Şekil 4.13 YKLP pres kafasının gerilme dağılımı

Şekil 4.13’da elde edilen eşdeğer gerilme dağılımı sonucunda tasarımın gerilme dağılımı ve yük altındaki geometri davranışı incelendiğinde, tasarımın emniyetli olduğu görülmüştür. Öte yandan şaseye yük aktarımı için de yükü dağıtma durumu incelenmiş ve yükü şaseye aktarırken dağıttığı gözlemlenmiştir. Analiz sonucu keskin noktalarda anlık gerilme artışları ile karşılaşılmıştır. Geometrinin sivri yüzeylerindeki eleman boyutlarının değişimi ile gözlemlenen bu durum filtrelenerek yorumlanmıştır. Bölgesel alanlarda meydana gelen gerilme dağılımının çevredeki elemanlar ile uyumlu olması beklenmektedir SEY teorisi gereği elemanlar yük altında davranışlarını birbirlerine aktararak çözüm ağına doğru süreç ilerlemektedir. Gerilme dağılımlarının elemanlar arası ilişkisine dikkat edilmelidir.

Katot levha sıkıştırma presinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi sonucu elde edilen verilen Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. SEY Analiz sonuçları ile tasarım değerlendirilmesi

	Maksimum Gerilme Yoğunluğu	Tasarım Emniyet Katsayısı
YKLP şasesi	240 MPa	1,47
Hidrolik piston kafaları	208 MPa	1,69
Sıkıştırma plaka girişleri	220 MPa	2,58

Çizelge 4.2’de tasarımın 1,5 kat emniyetli şekilde tamamlandığı görülmüştür. YKLP şasesinin maksimum gerilme olarak nitelendirilen yerleri bağlantı noktalarında yer almaktadır. Modelleme de plaka üzerinden sabit geometri belirtilerek analiz yapılmıştır. Uygulama esnasında bu durum çene metodu ile sabitleme yapılacaktır. Şase plaka üzerinden değil, şasesinin olduğu çelik profil üzerinden sabitlenecektir. Böylece meydana gelen kesme gerilmeleri azalacaktır. Modelleme esnasında bu şekilde sabit nokta belirtildiğinde şaseye yük aktarmadan sabit geometri tanımlanmaktadır. Bu şekilde sağlıklı bir sonuç elde edilemeyeceği için zeminden sabitleme yapılmıştır. Plaka olarak tanımlanan zemin bağlantı parçası prototip makine üzerinde sabitlenirken şase üzerindeki profil üzerinden cıvata ile sabitlenmiştir.

Tasarım esnasında kullanılan kafes sistemleri ve saç malzemenin örülü yapı ile hacimsel olarak %40 ağırlık tasarrufu (Dolu malzemenin imal edilmiş geometriye göre kafes geometrisi kıyaslanarak elde edilmiştir.) sağlanarak tamamlanan tasarım yük altında %50 fazla dayanımlı olarak tasarım doğrulanmıştır.

4.3. Hidrolik Sistemin Modellenmesi ve Konum Kontrolü

Çalışma kapsamında endüstriyel bir probleme çözüm olarak tasarlanan özel amaçlı presin hidrolik sisteminin modellenmesi ve konum kontrolü yapılmıştır. Literatürde yer alan benzer çalışmalardan fazlı olarak tasarımı yapılan presin hidrolik sisteminin modellenmesi ve oluşturulan model ile tasarım modelinin entegre kontrolü yapılacaktır. Presin tasarımında malzemenin fiziksel davranışı, mekanik yaklaşımlar ve bunların yanı sıra akışkan dinamiği uygulamaları ile çok yönlü çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları için SolidWorks ve SolidWorks Simulation yazılımları kullanılmıştır. Çalışmanın hidrolik sisteminin modellenmesi ve konum kontrolü kısmında MATLAB SimHydraulic yazılımı ve kontrol yaklaşımı ile katı modelleme kısmında da SolidWorks yazılımından elde edilen üç boyutlu tasarım modelinin MATLAB SimMechanics yazılımı kullanılmıştır.

YKLP'nin prototip imalatında kullanılan hidrolik sistemi Şekil 4.14'de yer almaktadır. Temel hidrolik mantığı ile kurulan sistem, pompa tarafından sağlanan akışkan hareketinin yön kontrol valfi ile sistemi kontrol edeceği şekilde kurulmuştur. Sistem kontrolü için yön valfine oransal valf eklenerek piston hareketlerinin konum kontrol simülasyonu sağlanmıştır.

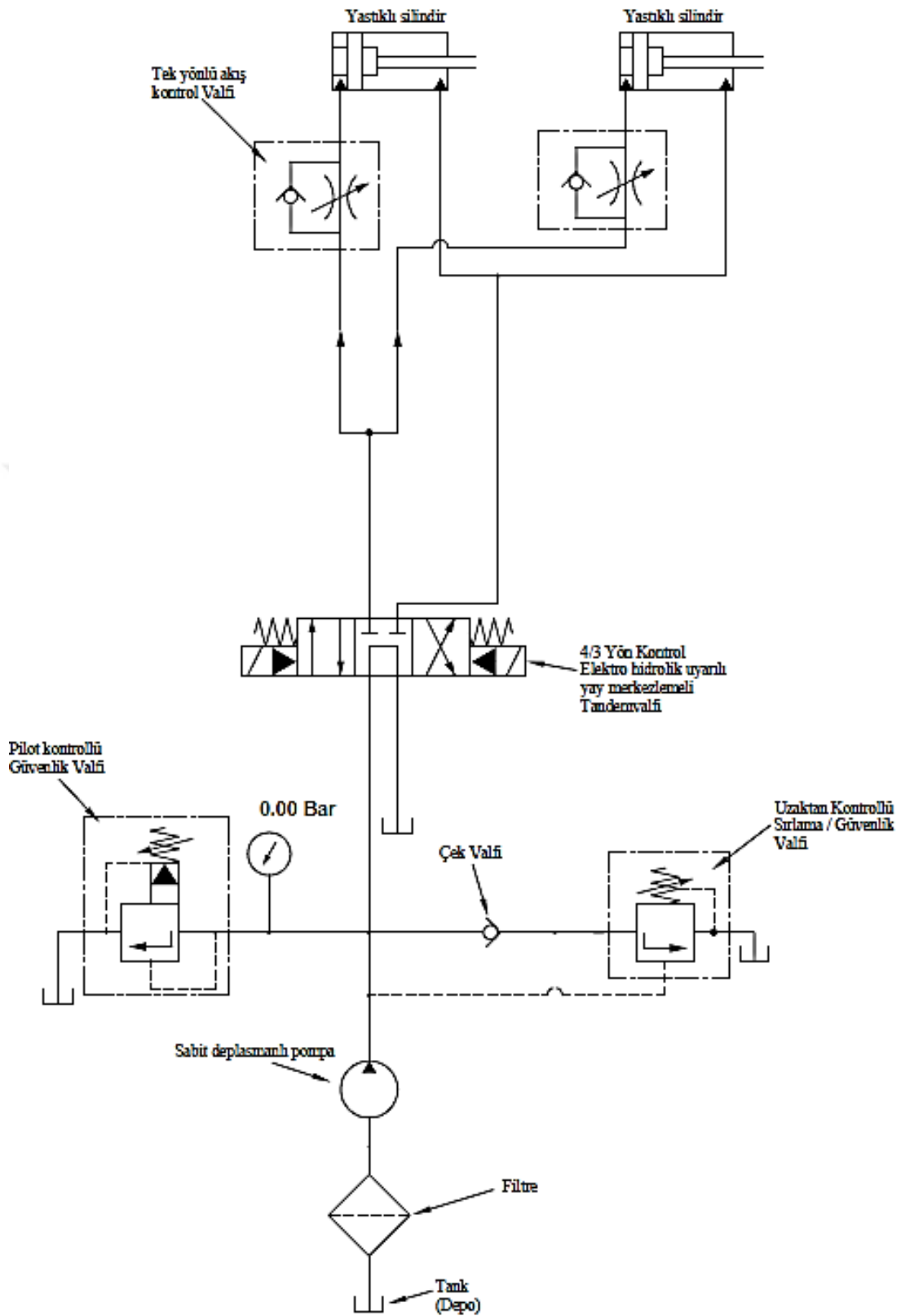
Hidrolik modelin belirlenen senaryo altında referans giriş sinyaline göre kontrolü sağlanırken çalışma senaryosu ile beraber sisteme karşı yük de uygulanarak sistemin tepkisi, kontrolü sağlanmıştır.

Sistemin kontrolü için belirlenen referans sinyali ile pistonun konumu kıyaslanarak kontrolcü üzerinden sonuç elde edilmiştir. Sistemin kontrolü kullanılacak olan valfin hareket kontrolü ile sağlanmaktadır. Akışkan kontrolü uygulamalarında sıkça kullanılan oransal valf ile yön valfinin kontrolü ile debi kontrolü simülasyonu yapılmıştır.

Makinenin tasarımı ve kullanım şartlarına göre belirlenen iki farklı durum altında hidrolik sistemin kontrolü sağlanmıştır.

Oluşturulan modellerin MATLAB Simulink kütüphanesi altında birbiriyle entegrasyonu yapılacak ve entegre modelin hareket simülasyonu ile konum kontrolü elde edilmiştir.

PID kontrolcü yardımıyla sağlanan kapalı çevrim kontrol sisteminde MATLAB GUI Control System Toolbox modülü yardımıyla oransal, integral ve türevsel katsayıları elde edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler eşliğinde sistemin hassas kontrolü sağlanmıştır.



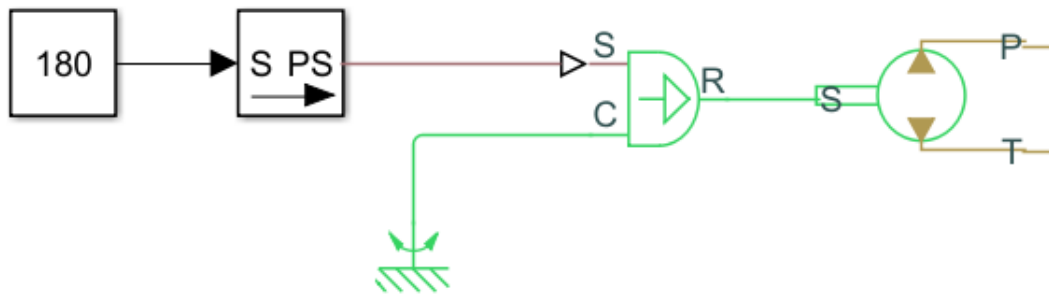
Şekil 4.14 Hidrolik sistem şeması

4.3.1. Hidrolik sistemin modellenmesi

Tasarımı tamamlanan sistemin hidrolik bileşenler ile hidrolik modeli MATLAB SimHydraulic yazılımı üzerinden sağlanmıştır. Yazılım kütüphanesinde bulunan hidrolik bileşenler ile oluşturulan model aşağıdaki elemanlar oluşmakta ve Şekil 4.22’de gösterilmektedir:

Açısal hız kaynağı; sabit deplasmanlı pompanın hareket kaynağını oluşturmaktadır. Şekil 4.15’de gösterilen şekilde bağlantısı sağlanan bileşen sisteme rad/s olarak açısal hız sağlamaktadır. Açısal hız kaynağı modele sabit bir noktaya mafsal ile bağlı olarak eklenmiştir. Ayrıca Simulink kütüphanesinden alınan sabit sinyal dönüştürücü ile beraber açısal hız kaynağına rad/s giriş sinyali olarak bağlanmıştır.

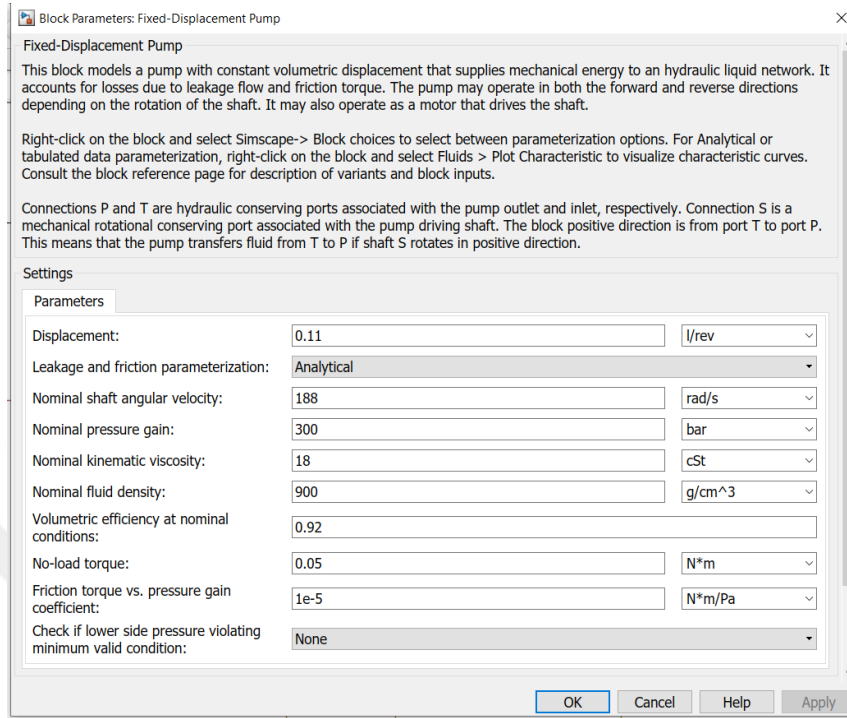
Modelleme esnasında makinenin kullanılacağı Karadeniz bölgesinde dört mevsim çalışacak hidrolik sistem için SAE50 hidrolik akışkan kullanılmış, MATLAB SimHydraulic kütüphanesinden ve Petrol Ofisi ürün kataloğundan modellemede kullanılan parametreler alınmıştır. (PO, 2019)



Şekil 4.15 Sabit açısal hız kaynağı ile sabit deplasmanlı pompa bağlantısı

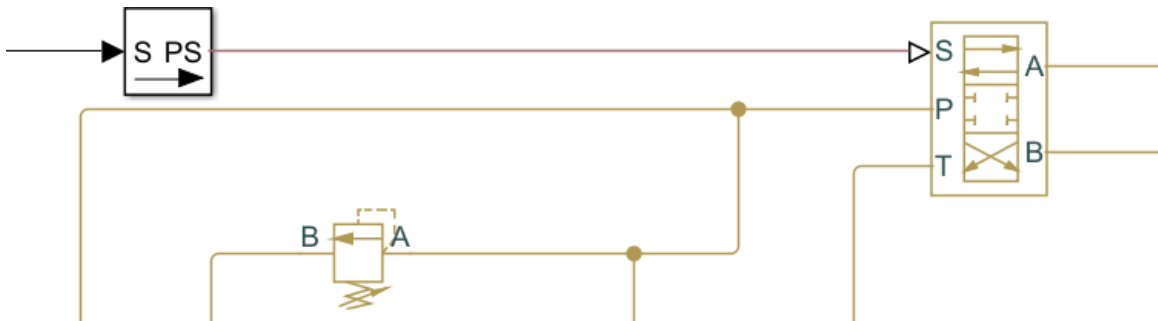
Sabit deplasmanlı pompa; hidrolik akışkanın belirlenen basınç ve debi ile sisteme kaynağını sağlamaktadır. Sistem için kullanılan pompa modelidir. Basınç ve debiyi sağlamak için gerekli parametreler ile yazılım içerisinde modellenmiştir. Şekil 4.16’da belirtilen parametreler ile modellenmiştir. Modeli oluşturan parametreler pompanın açısal hareket doğrultusunda transfer edeceği akışkan miktarını yani debiyi sağlayan deplasmanı, akışkan sıkıştırma kuvveti sonucu sağlayacağı basınç, akışkana dair özellikler ve fiziksel kayıp nitelikleridir. Pompa bağlantısı açısal hız kaynağı girişi sinyali ile tamamlanmakta ve T bağlantısından gelen akışkanı P bağlantısı üzerinden

debi ve basınç ile sağlamaktadır. Pompanın nominal açısal hızı 1500 d/dk olarak sistemde modellenmiş olup, 1450 d/dk'lık motor ile simülasyon gerçekleştirilmiştir.



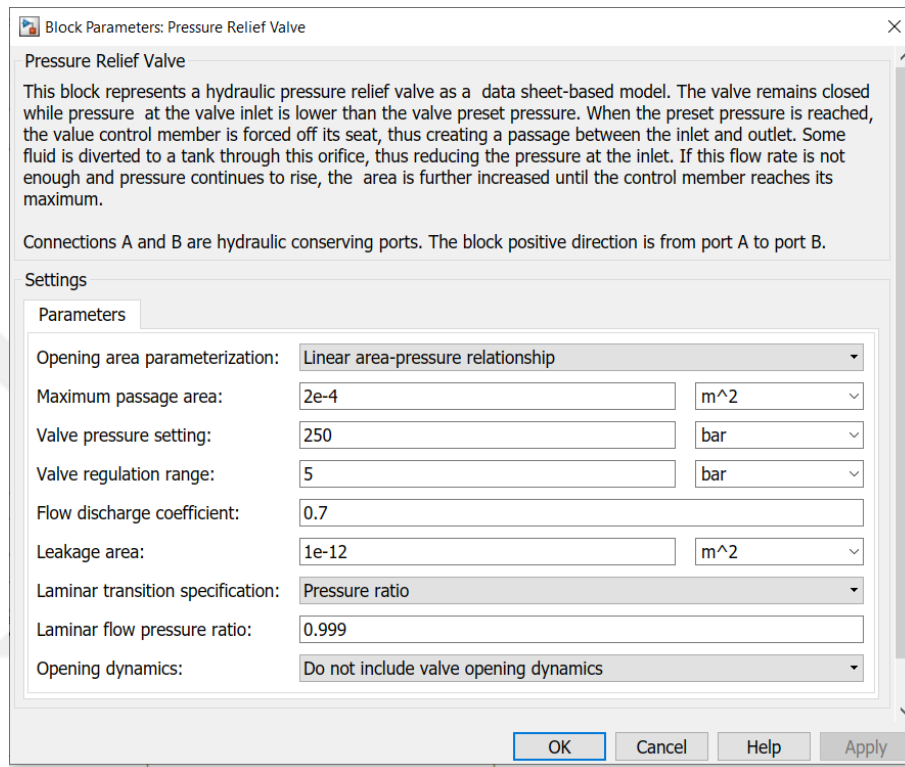
Şekil 4.16 Sabit deplasmanlı pompa parametreleri

Silindirlerin kontrolü için akış hattı üzerine yönlendirme valfi eklenmiştir. 4/3 yön valfi ile beraber basınç kontrol valfi ile akış hattı modellenmiştir. Şekil 4.17'de modelin pompa çıkışı akış hattındaki yön valfi ve basınç kontrol valfi bağlantısı verilmiştir.



Şekil 4.17 4/3 yön valfi ve basınç emniyet valfi bağlantısı

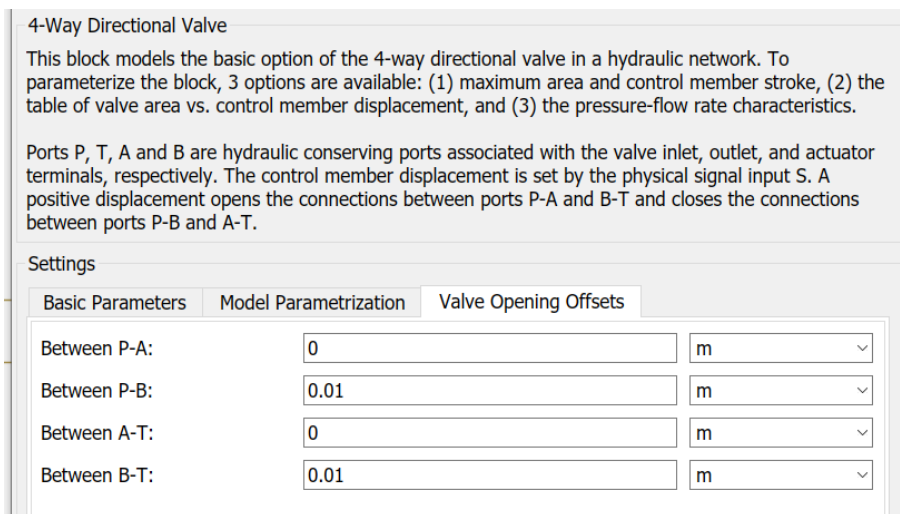
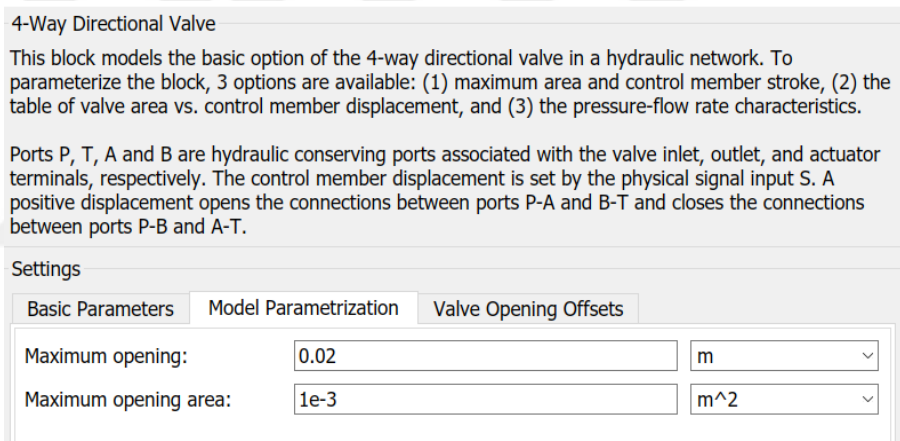
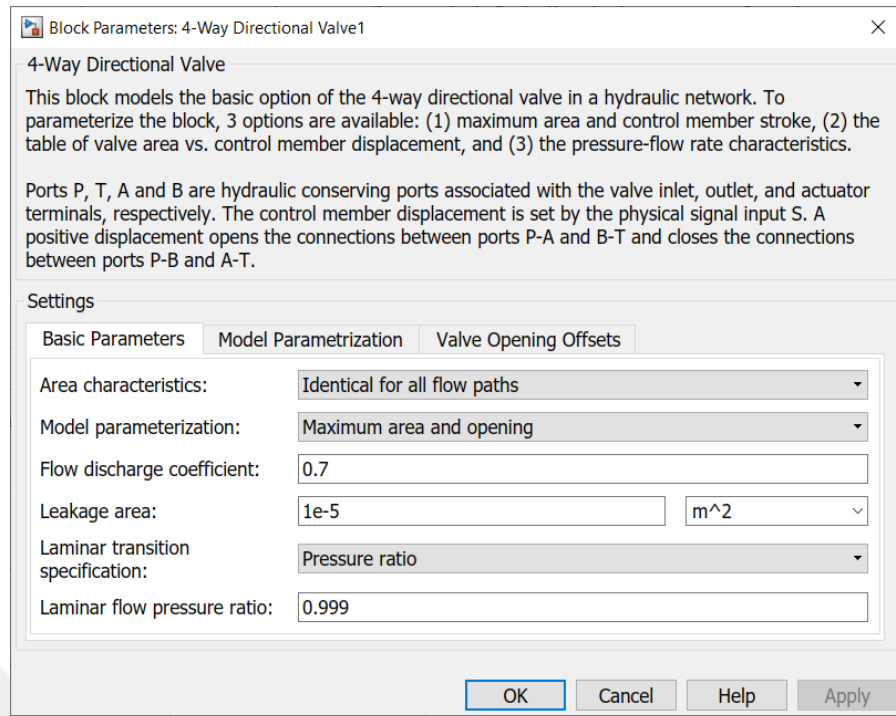
Sisteme eklenen basınç emniyet valfi akışkanın belirlenen basınç değerini aşması durumunda tanka tahliyesini sağlayacak bileşendir. Şekil 4.18’de basınç emniyet valfi modelini oluşturan parametreler verilmiştir. Bu parametreler arasında en önemlisi basınç ayarıdır. Diğer parametreler hidrolik elemanın fiziksel kayıp ve fonksiyon parametreleridir.



Şekil 4.18 Basınç emniyet valfi model parametreleri

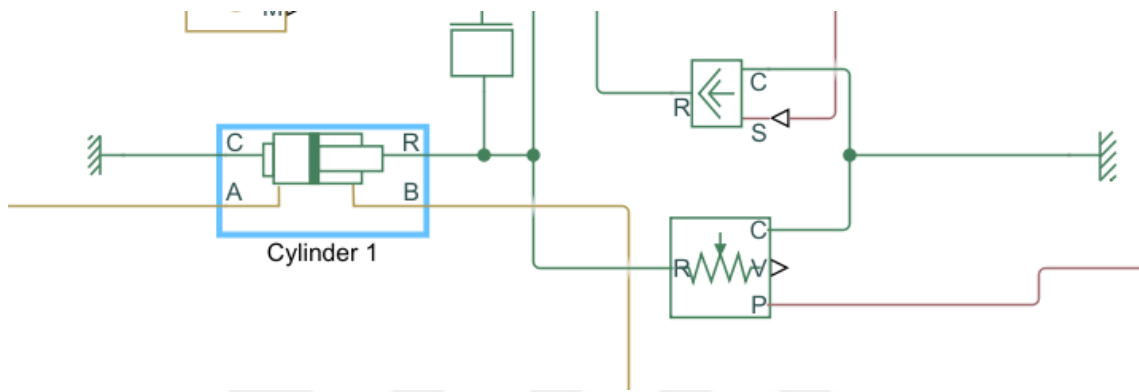
Şekil 4.17’de görüldüğü gibi P ve T bağlantıları arasında A ve B hatlarına yön vermek amacıyla kullanılan 4/3 yön valfi P hattı üzerinden gelen akışkanı A ya da B yoluna yönlendirmekte zıt hattaki akışkan için T yolunu açmaktadır. Böylece piston kontrolü ileri ve geri olarak tamamlanmaktadır. Diğer bir giriş ise valfin kontrolü için girilen sinyal değeridir. Bu değer fiziksel sinyal olarak modele girilecektir, böylece silindir hareketi sağlanacaktır.

Valf modelini tanımlamak için belirlenen parametreler, Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Bu parametreler temel parametreler olarak girilen valfin fiziksel özellikleri, valf akış hattının boyutları ve valf açılma durumu ölçüleridir.



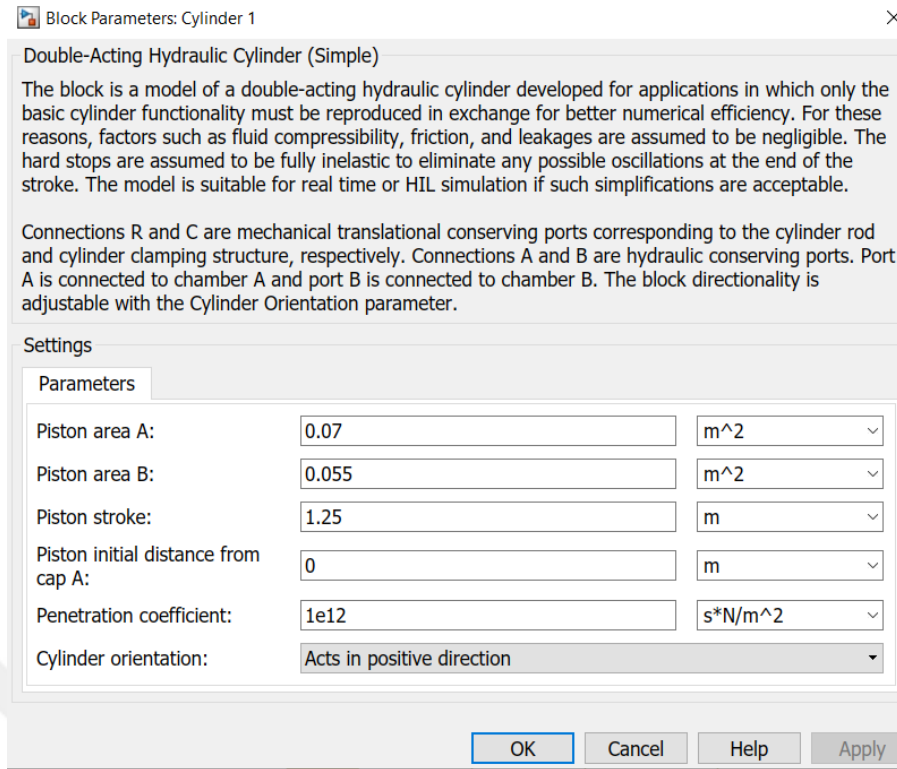
Şekil 4.19 4/3 yön valfi model parametreleri

Akışkan hattı üzerinden hidrolik kuvveti fiziksel kuvvete dönüştürmek için hidrolik silindir bağlantısı yapılmıştır. Sisteme çift silindir modeli ile modelleme sağlanmıştır. Tasarımda uygulandığı şekilde simetrik çift silindir modeli yapılmıştır. Şekil 4.20’de hidrolik sistem bağlantısı belirtilmiş olup Şekil 4.21’de model parametreleri gösterilmiştir. Parametreler arasında hidrolik silindirin A ve B kısımlarındaki alanlar, strok uzunluğu, sızıntı miktarı ve başlangıç sınır şartı yer almaktadır.



Şekil 4.20 Hidrolik silindir bağlantısı

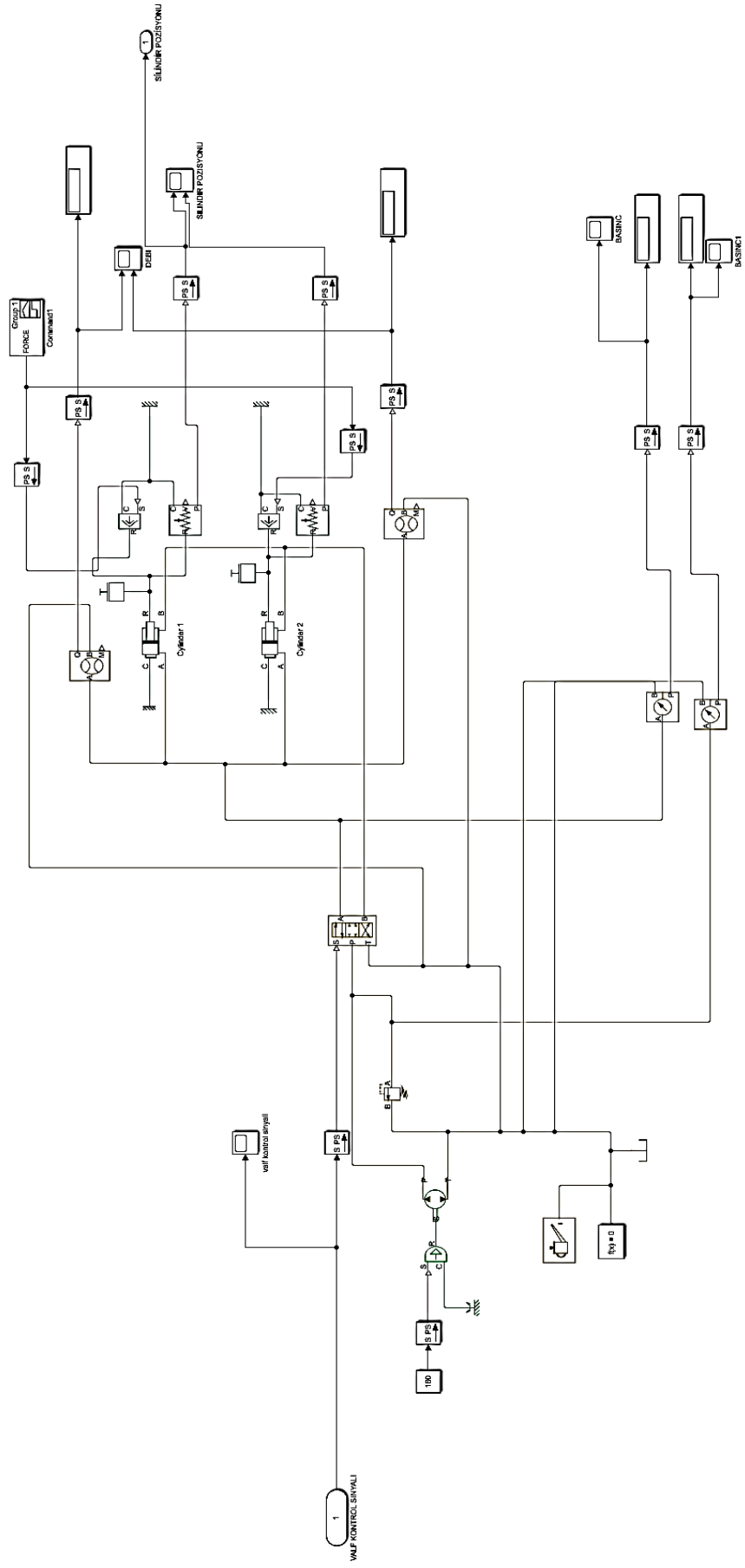
Hidrolik silindirler A ve B hatlarındaki akış bağlantıları ile C ve R çıkışları arasında fiziksel sinyal üretmektedir. A hattına beslenen akış ileri piston hareketini B hattına beslenen akış geri piston hareketini sağlamaktadır. C bağlantısına sabitlenen piston üzerinden R çıkışından hareket sağlanmaktadır. Hareketi karşılamak için R çıkışına fiziksel kütle konumlandırılmalıdır. Aksi halde simülasyon rijit bağlantıya doğrudan bağlandığında fiziksel olarak karşı kuvveti yenemediği için tepki verememektedir. Bu sebeple fiziksel yük kaynağı eklenmiştir. Piston hareketini sağlamak içinde fiziksel hareket sensörünün bağlantısı yapılmıştır. Sensör üzerinden P çıkışı ile pozisyon ölçümü yapılacaktır.



Şekil 4.21 Hidrolik silindir parametreleri

Tamamlanan modele çözüm araçları da ilave edilmiştir. Bunlar; fiziksel çözümcü (solver), basınç, debi ve kuvvet sensörleri, hidrolik yağ tankı ve hidrolik yağ kaynağıdır.

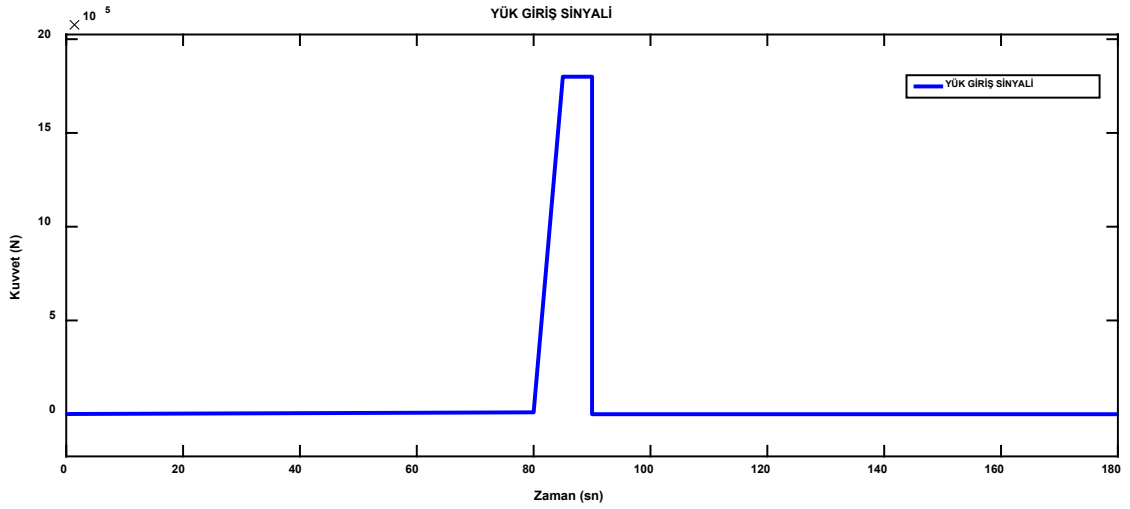
Tamamlanan hidrolik sistem modeli MATLAB Simulink kütüphanesi üzerinden Şekil 4.22’de görüldüğü şekliye oluşturulmuştur.



Şekil 4.22 Hidrolik sistem modeli

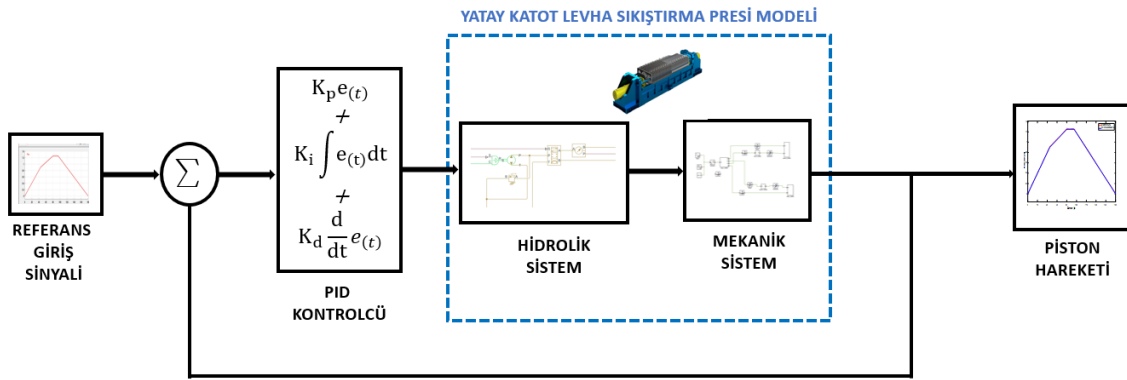
4.3.2. Hidrolik sistemin konum kontrolü

Hidrolik sistemin kontrolünü sağlamak için hidrolik modele tasarım yük senaryosu da Şekil 4.22’de belirtilen yük kaynağına giriş sinyali olarak eklenmiştir. Yük senaryosu ileri strok hareketi boyunca devam eden harekete sıkıştırma esnasında etki eden tepki yükünü göstermektedir. Şekil 4.23’de yük sinyali görünmektedir. Sinyalin giriş etkisi N birimindedir.



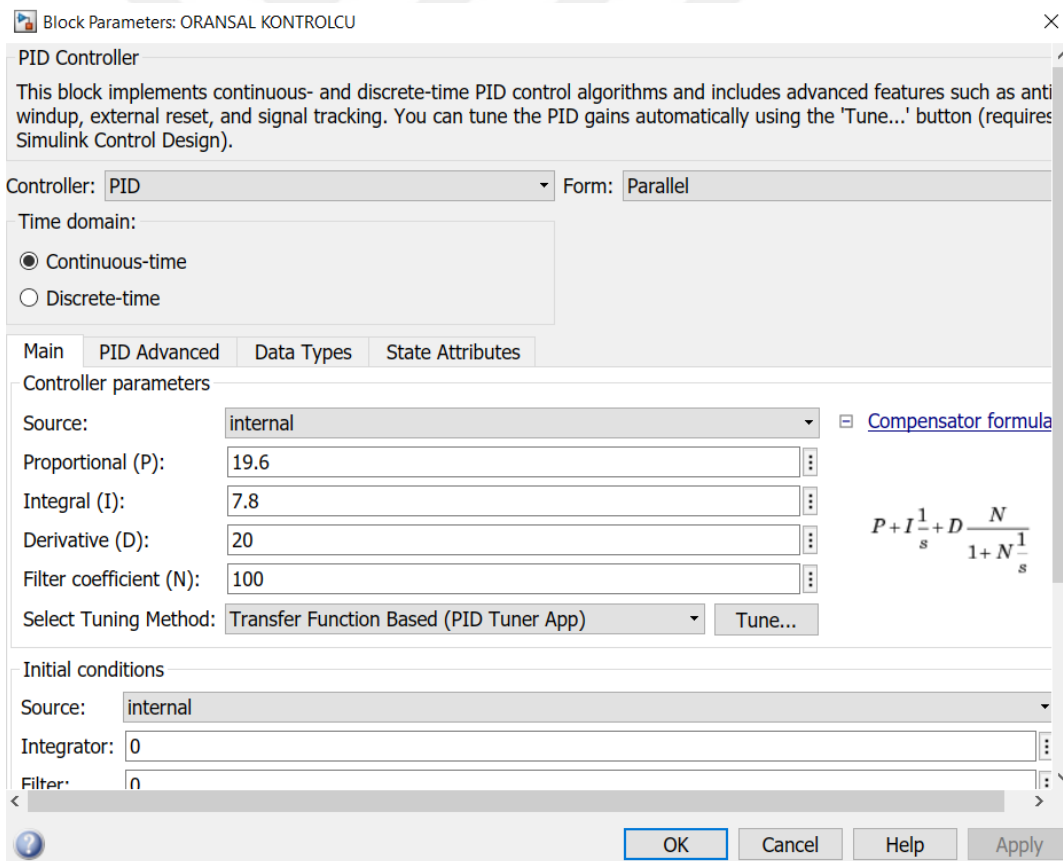
Şekil 4.23 Hidrolik sisteme etki eden yük giriş sinyali (N)

Model üzerinden valf kontrol sinyali giriş sinyali olarak kullanılmaktadır. Sistemin çıkışı için de eş iki silindirlerden birine ait konum sinyali alınmaktadır. Kontrol modeli referans giriş sinyali olarak tanımladığımız sinyal doğrultusunda konum sinyali ile kıyaslama yaparak valf kontrol sinyali elde edecektir. Kapalı çevrim kontrol sistemini oluşturduktan sonra PID kontrolcü ile sistem kontrolü sağlanmıştır. Sistemin kontrol modeli Şekil 4.24’de verilmiştir.



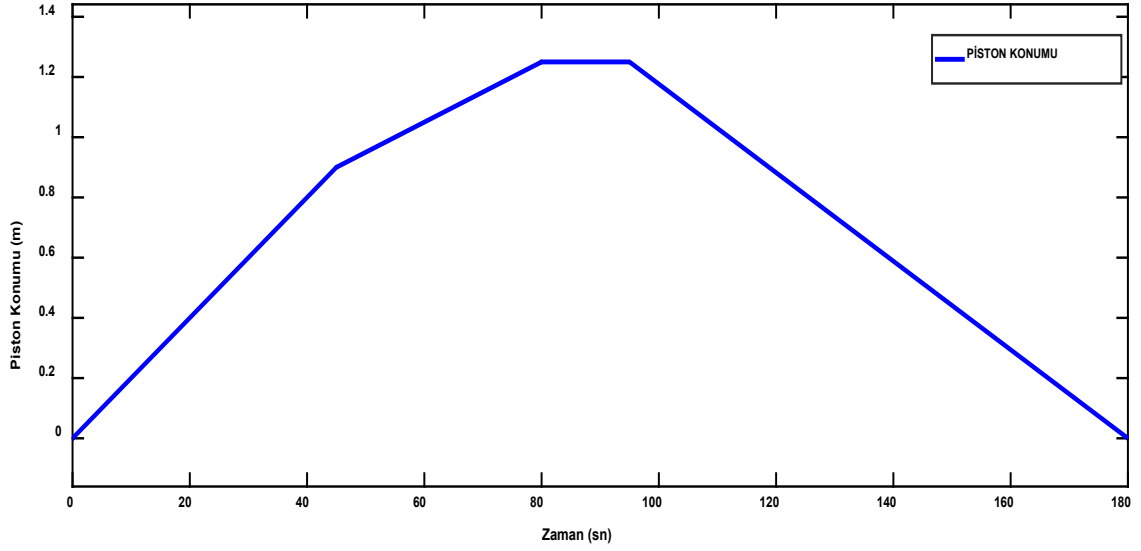
Şekil 4.24 Hidrolik sistem kapalı çevrim kontrol modeli

Sistemin kontrolü için kontrolcü kazanç parametreleri Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Bu parametreler MATLAB Control Autotune modülü yardımıyla optimize edilerek elde edilen parametrelerdir.



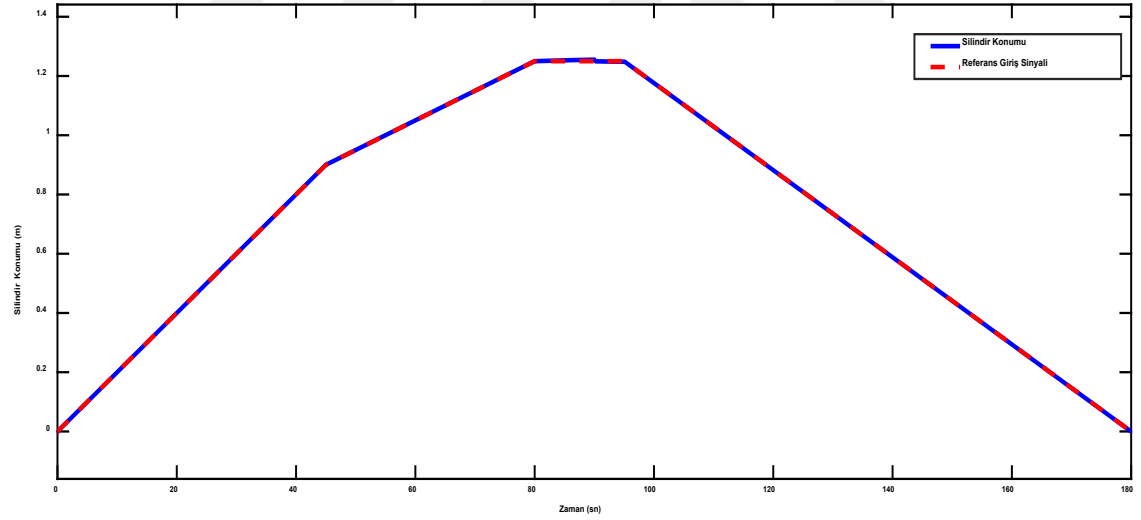
Şekil 4.25 PID kontrol parametreleri

Sistemin hareket senaryosu olarak referans giriş sinyali Şekil 4.26’de verilmiştir.



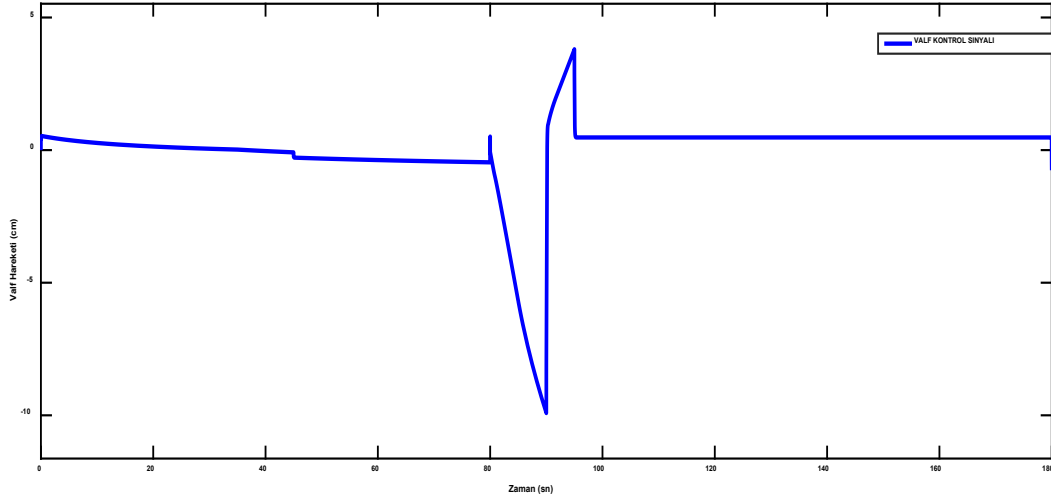
Şekil 4.26 Referans giriş sinyali

Kontrol sonucunda elde edilen konum sinyali ile referans giriş sinyalini beraberinde gösterimi, kontrol grafiği olarak Şekil 4.27’de verilmiştir.



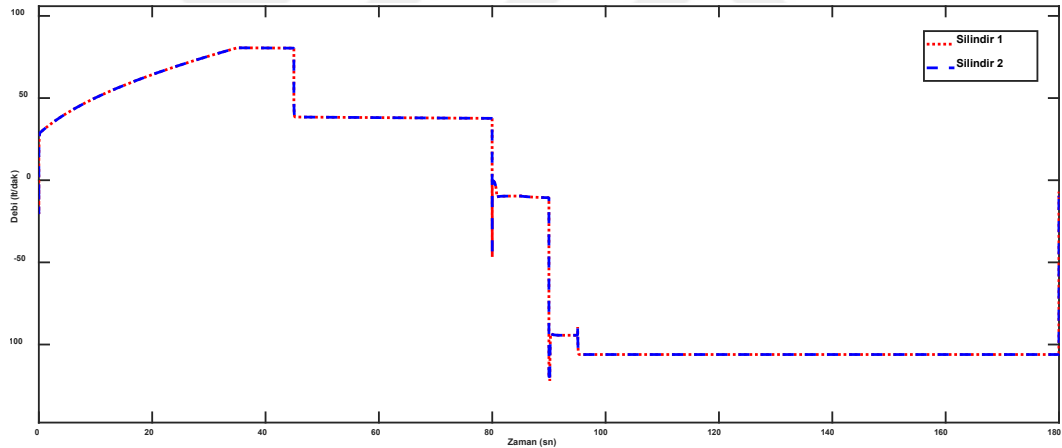
Şekil 4.27 Hidrolik sistemin referans giriş sinyaline göre kontrol grafiği

Kontrol edilen sisteme kontrolcü tarafından sağlanan valf kontrol sinyal grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28 Valf kontrol sinyali

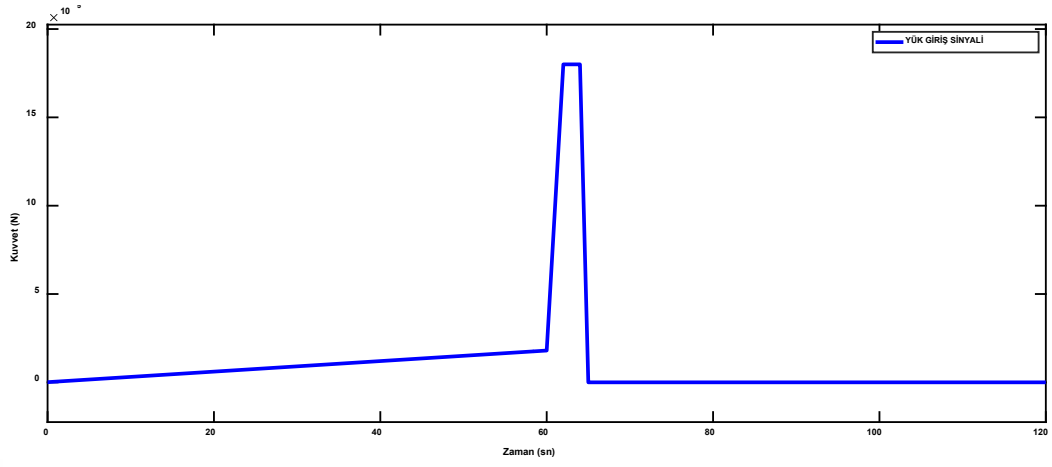
Kontrol sonucunda hidrolik hareketi sağlayan debi grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29 Kontrol edilen hidrolik sistemin debi grafiği

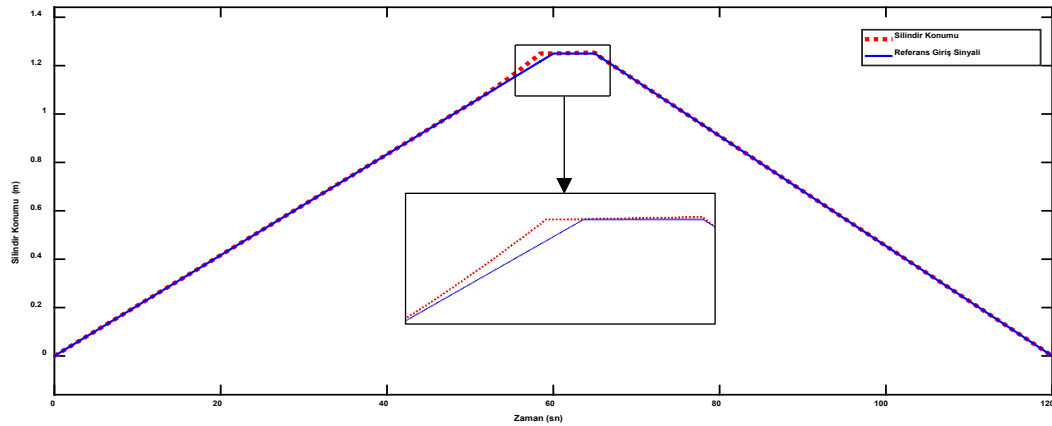
Hidrolik sistem modeline ikinci bir referans giriş sinyali ile verilen senaryo doğrultusunda sistem ikinci bir kez kontrol edilmiş ve sonuç grafikleri alınmıştır. Oluşturulan yeni senaryo makineye daha ince kalınlıklarda presin kısa çevrim süresi ile çalışması durumunu gözlemlemek amacıyla eklenmiştir. Makine için farklı senaryolarda çalışma verimi işletme tarafından gözlemlenip uygun çevrim süresi ile optimum verim hedeflenmektedir. Katot plaka kalınlıkları elektroliz prosesi içerisinde sürekli değişmektedir. 2-4 mm kalınlığında elektroliz işlemine maruz kalmış en ince

kalınlıktaki katotlardır. İkinci senaryo için revize edilen yük senaryosu Şekil 4.30'de gösterilmektedir.



Şekil 4.30 İkinci simülasyon için hidrolik sisteme etki eden referans yük giriş sinyali (N)

Referans giriş sinyali ile beraber sistemin konum çıktısı ile beraber yer alan kontrol grafiği de Şekil 4.31'de verilmiştir. Grafik üzerinde kontrol parametreleri değiştirilmeden ikinci referans sinyale göre kontrolün sağlandığı gözlemlenmiştir. İkinci simülasyon grafiğinde sistemin kontrol tepkisinde grafik üzerinde meydana gelen sapma belirtilmiştir. Bu sapma maksimum açıklık ile çalışmakta olan valfin tepki süresi ile orantılı olup, kontrol için sınır değerlerde çalışan sistemlerin belirli noktalarda tepki sürelerindeki artışı göstermektedir. Sistemlerin hassas kontrolü ile tepki verebilmesi için kontrol noktaları sınır şartlardan ziyade belirli bir tolerans aralığında kalmalıdır. Ayrıca valf konumunda kontrol esnasında gösterilen pik noktaları sistemin konumunda grafikte ki şekilde bir sapmaya neden olmaktadır.

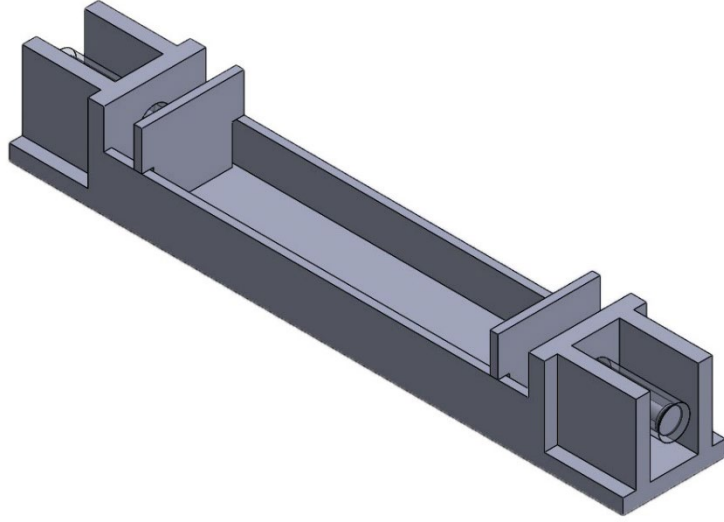


Şekil 4.31 İkinci simülasyon için sistem kontrol grafiği

4.3.3. Hidrolik sistem modelinin mekanik katı sistem modeli ile entegrasyonu

Hidrolik sistem modeline entegre edilmek üzere katı sistem modeli farklı bir yaklaşım ile tekrar oluşturulacaktır. Üç boyutlu tasarım modeli olarak SolidWorks yazılımında oluşturulan model MATLAB SimMechanics yazılımı üzerinden tekrar modellenecektir. Hareket modeli ve mafsalları üzerinden katı model tekrar modellendikten sonra Simulink ara yüzünde SimHydraulic – SimMechanics bağlantısı ile entegre edilecektir.

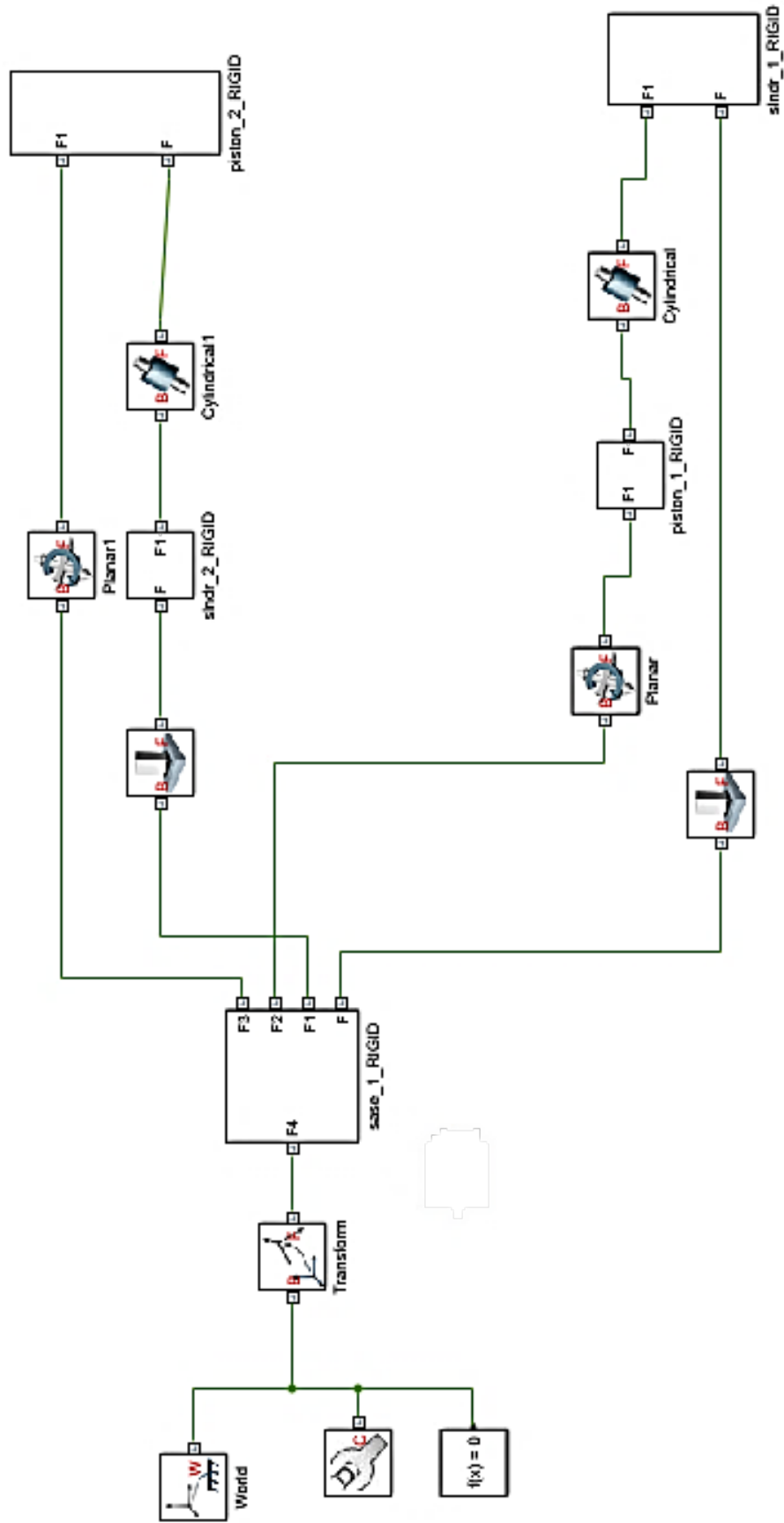
Hidrolik sistemin entegre olacağı katı model piston hareketi temelli olacağı için rijit gövde geometrilerinin önemi bulunmamaktadır. MATLAB SimMechanics yazılımına gönderilmek üzere hidrolik sistem hareketini simüle edecek sade bir model hazırlanmıştır. Aynı zamanda hidrolik silindirlerin imalat için hazırlanan detayları ve sızdırmazlık elemanları da ayıklanarak oluşturulan model Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



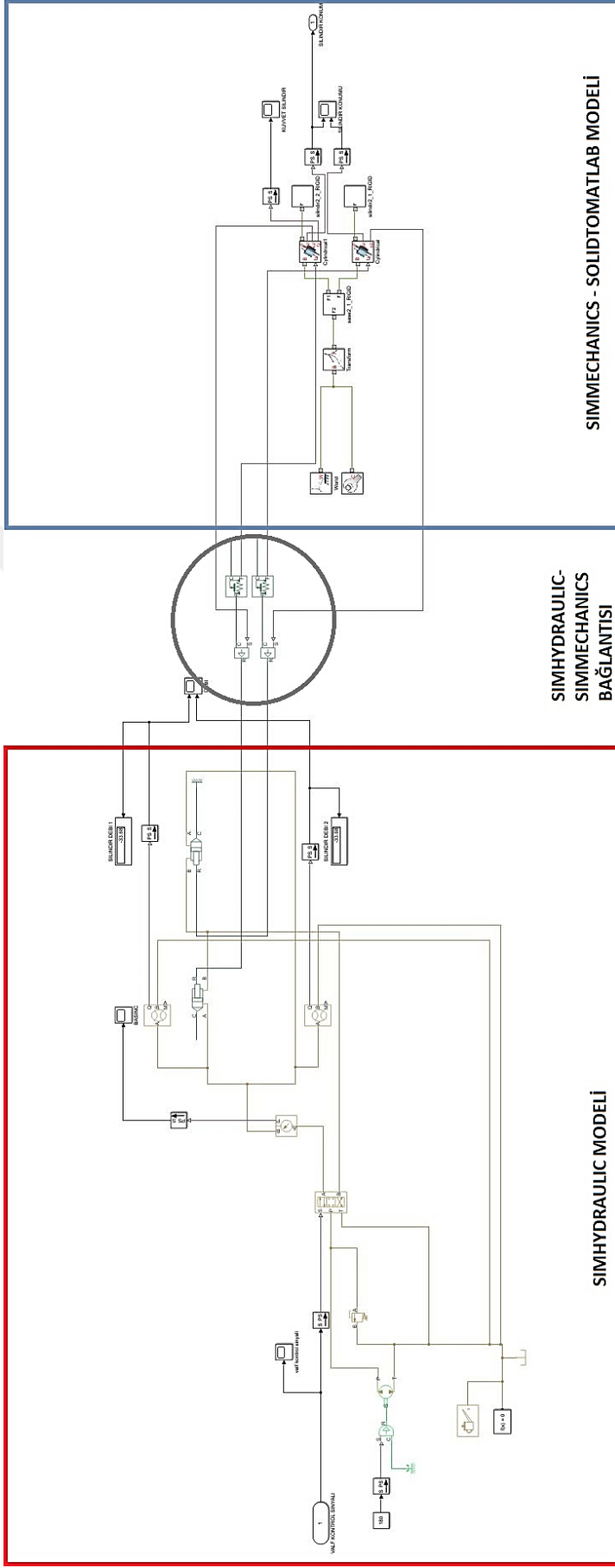
Şekil 4.32 Hidrolik – mekanik sistem modeli için hazırlanan üç boyutlu katı model

Katı modelin MATLAB SimMechanics yazılımı üzerinden elde edilen modeli Şekil 4.33’de verilmiştir.

Elde edilen SimMechanics modeli ile SimHydraulic modelinin bağlantısı Şekil 4.34’de verilmiştir.



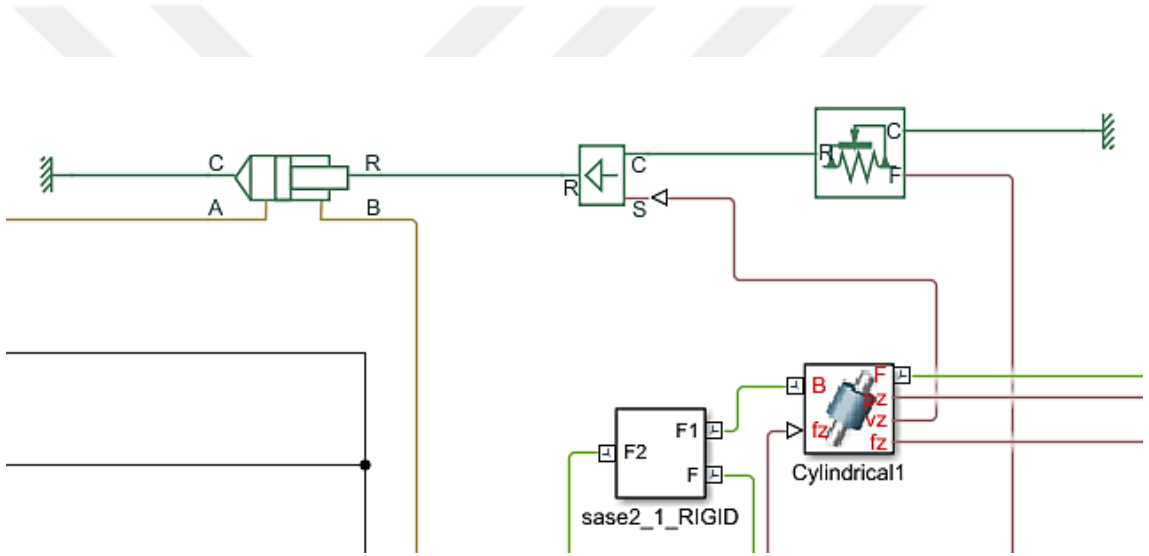
Şekil 4.33 Katı model üzerinden elde edilen Simmechanics mekanik modeli



Şekil 4.34 Hidrolik – mekanik bağlantısıyla oluşturulmuş entegre model

Oluşturulan hidrolik – mekanik entegre modelin bağlantısı Şekil 4.35’de verilen şekilde sağlanmıştır.

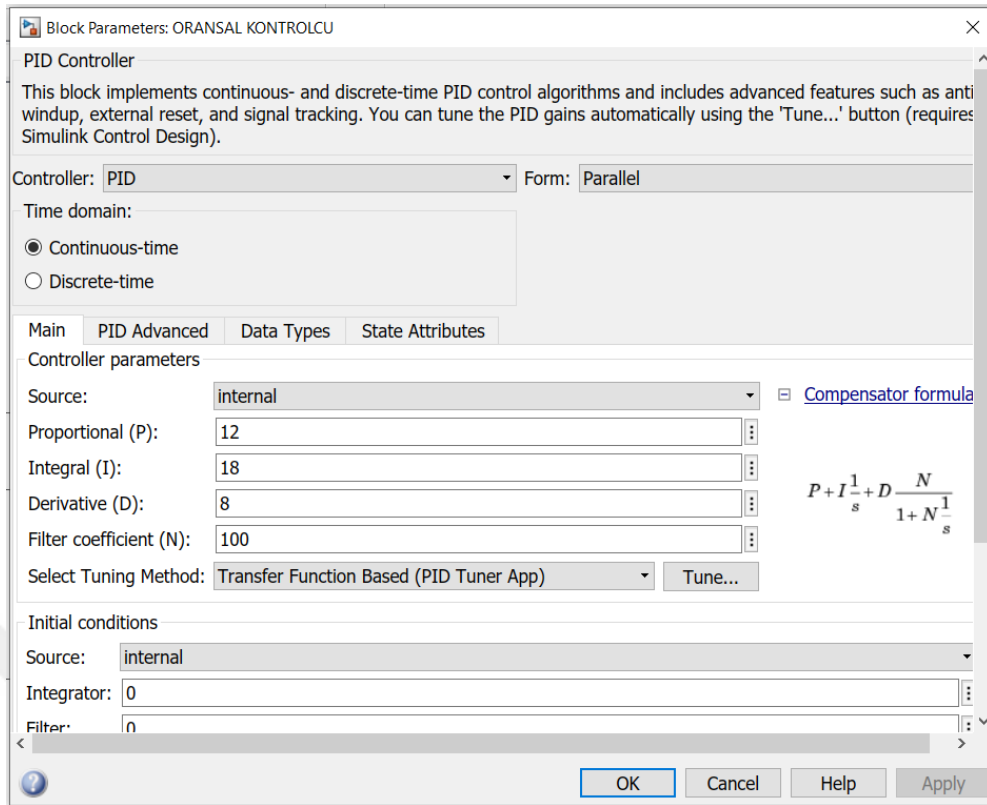
Hidrolik model ile katı modelden elde edilen mekanik modelin bağlantısı; hidrolik sistemin silindirinden alınan hareketin katı modele aktarılması ile sağlanacaktır. Katı modelden oluşan yük ve hareket cevabı ile entegre sistem kontrolü sağlanacaktır. Bu bağlantı için hidrolik silindirden alınan kuvvet verisi yazılımda bulunan uygun bağlantı araçları ile mekanik sistemdeki hareket mafsalına hareket kaynağı olarak girilmiştir. Modelde bulunan silindirik mafsal silindirik ve döner mafsal hareketini içermektedir. Hidrolik piston hareketi için silindirik mafsal hareketi gereklidir. Silindirik mafsal hareketinden elde edilen hız verisi de hidrolik sisteme hareket kaynağı olarak girilmiştir. Böylece hidrolik – mekanik sistemin entegrasyonu sağlanmıştır.



Şekil 4.35 Hidrolik – mekanik model bağlantı detayı

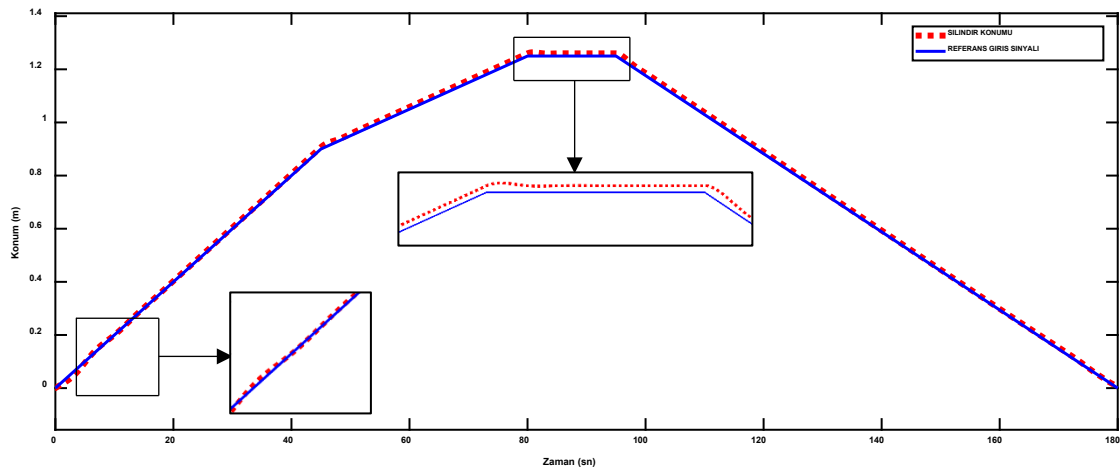
4.3.4. Hidrolik – mekanik entegre sistem modelinin konum kontrolü

Hidrolik sistem ile birleştirilen mekanik modelin kontrolü sağlanmak istenmiştir. Bu sebeple referans sinyalizim ile mekanik sistemdeki piston hareketi kıyaslanarak kontrolcü vasıtasıyla hidrolik valf sinyali kontrol edilecektir. Değişen sistemin hidrolik sistemdeki PID kontrol parametreleri ile kontrol edilemediği gözlemlenmiştir. MATLAB Control modülü üzerinden yapılan optimizasyonlar ile yeni parametreler elde edilmiş ve Şekil 4.36’de verilmiştir.



Şekil 4.36 Hidrolik – mekanik model PID kontrol parametreleri

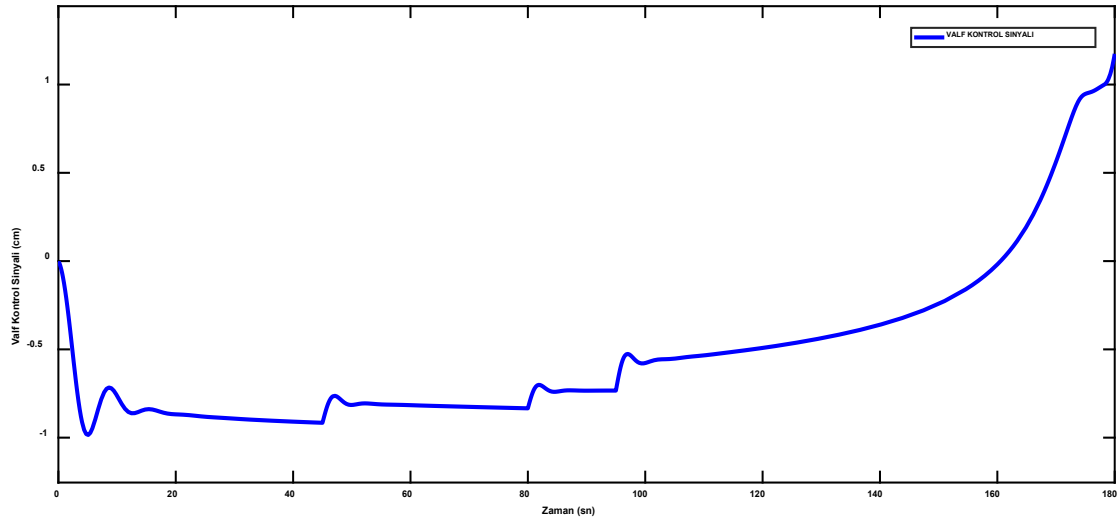
Entegre sistemin aynı referans konum sinyaline göre kontrol grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir. Elde edilen grafikte hareket kontrolünün hassas şekilde sağlandığı gözlemlenmiştir. Yazılım üzerinde üç boyutlu katı modelin görsel hareket simülasyonu da elde edilmiştir.



Şekil 4.37 Hidrolik – mekanik model kontrol grafiği

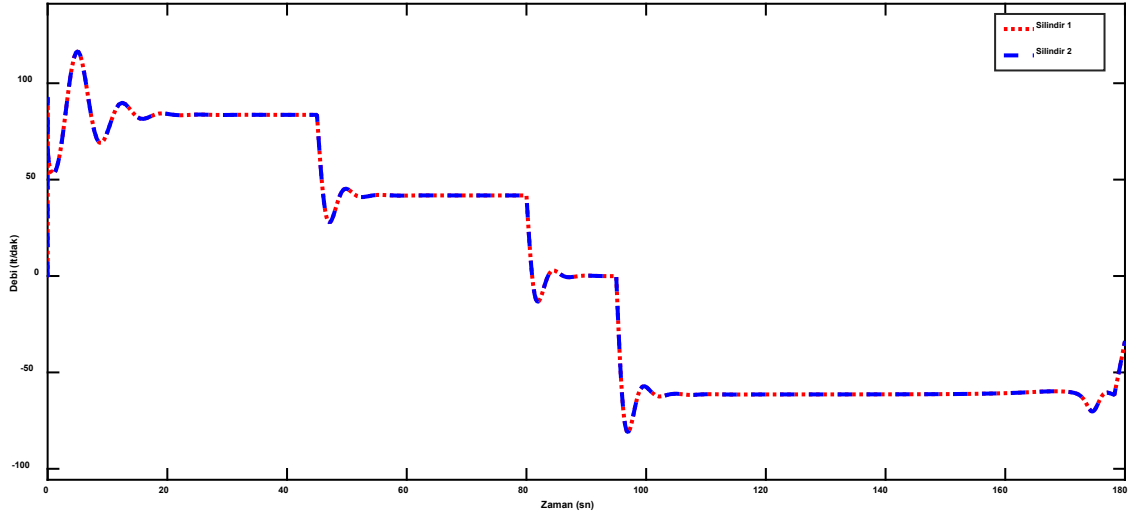
Şekil 4.37’de verilen sistemin referans giriş sinyaline göre konumunu ele alındığında sistem kontrolü esnasında saptırma meydana gelen artış, sistemin katı model ile kontrolünün zorlaştığı şeklinde yorumlanabilir. Katı model bağlantısı ile gerçeğe daha yakın senaryo oluşturulmuş ve kontrol sonucu hidrolik modelin kontrolü kadar hatasız olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde üç farklı sistem kontrol grafiği elde edilmiş olup, sistemin hidrolik modeli ve katı model ile entegre hidrolik modeli arasında %1,6 kadar saptırma elde edilmiştir. Bu sistemin kontrolü için kabul edilebilir düzeyde olmakla beraber literatürde yer alan çalışmalar ile benzer nitelik olarak değerlendirilmiştir. Özellikle literatürde yer alan laboratuvar ortamı ile kıyaslanan kontrol çalışmalarında hidrolik model ile gerçek arasındaki saptırma oranına yaklaşıldığı anlaşılmıştır.

Sistemin kontrolcü tarafından sağlanan valf kontrol sinyali Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



Şekil 4.38 Hidrolik – mekanik model valf kontrol sinyali

Kontrol edilen sistemin debi grafiği de Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39 Hidrolik – mekanik model debi grafiği

Yapılan çalışma neticesinde sistemin kontrolünün yaklaşık %2 oranında sapma ile sağlandığı gözlemlenmiştir. Oldukça hassas şekilde kontrol edilen sistem modelinin hidrolik olarak kontrolünü sağladıktan sonra, mekanik katı model bağlantısı ile kontrolü yapılmıştır. Program tarafından hesaplanan fiziksel etki altında hareket eden modelin kontrolü için kontrolcü parametrelerinin optimizasyonuna ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan optimizasyon neticesinde sistemin hassas kontrolü tekrar sağlanmıştır. Yapılan çalışma sonuçları incelendiğinde katı model bağlantısı kurulmayan hidrolik sistemin kontrolü yapılırken sistemin sert tepkiler ile anlık pik oluşturduğu gözlemlenmiştir. Katı model bağlantısı ile bu durum ortadan kalkmış daha sağlıklı bir kontrol sinyali elde edilmiştir. Oluşturulan ilk senaryo dahilinde sistem hidrolik ünite tarafından sağlanan hacimsel debi olarak %100 verimli çalışmamakta, kullanıcı opsiyonlu ikinci senaryo altında sıkıştırma ileri strok hareketini sistemin %100 hacimsel debi verimi ile çalışmaktadır, proses süresini 120 saniyede tamamlamaktadır.

Yapılan çalışma neticesinde 4 personelin 1 vardiya süresi boyunca (net 8 saat) çalışarak tamamladıkları 14 havuzda yer alan yaklaşık 1500 adet plakanın 2 personel ile net çalışma süresi olarak 2 saatte tamamlandığı verisi elde edilmiştir. Bu veri yaklaşık 6 aydır kullanılan makine raporunda ve işletme yönetimiyle beraber takip edilerek elde edilmiştir. Böylece %90'ın üzerinde personel tasarrufu elde edilmiş olmaktadır. Proses şartları hafiflemiş, iş sağlığı ve güvenliği için risk oluşturan doğrultma prosesi firma içerisinde kaldırılmıştır. İlave olarak firmanın son ürünü üzerinde oluşan form standartlaşmış, görsel kalite yönünden ciddi bir kazanç elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tez konusu yatay katot levha sıkıştırma presi endüstriyel üretim yapmakta olan ülkenin en büyük bakır üretim tesisinde meydana gelen bir sorunu çözmeye yönelik atılmış bir adımın neticesi olarak ortaya çıkmıştır. Dünya’da sayılı örnekleri bulunan bu sistem çalışma mantığı ile tek olarak yerini almıştır. Çalışmaların tamamlanmasının ardından akademik sürecin tamamlanması esnasında kullanılmakta ve kıyaslanabilir düzeyde ciddi bir işleme verisi elde etmiş durumdadır. Bahsedilen %90 insan gücü maliyetinin düşürülmesinin yanı sıra ürün kalitesinde de iyileştirmeye yol açmıştır. Düşük maliyetle artan ürün kalitesi bakır gibi değerli bir madenin işletme tesisinde olması sebebiyle ithalatı düşürmekte ve ihracatı arttırmaktadır. Öte yandan makine için tasarım ve imalat konusunda teklif veren firmalar arasında tek yerli firma olmamız sebebiyle ciddi bir ekonomik katkı da sağlamış durumdayız. Bu çalışma ile bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları ile güncel teknolojiye uygun, tasarım makinelerin yerli olarak ülkemiz şartları altında tasarlanabileceğini göstermek ve milli ekonomimize katkıda bulunmaktır. Makine kullanımı öncesi gece vardiyası boyunca 8 adet personel ile tamamlanan proses makine kullanımı ile beraber biri vinç operatörü olmak üzere 2 personel ile 2 saat gibi kısa bir sürede tamamlanmaktadır. Bu verilere prototip makinenin yazılım üzerinden kullanım sayısının takibi ve işletme yöneticilerinin kayıtları ile erişilmiştir.

Çizelge 5.1. Makine kullanımı öncesi ve sonrası proses personel giderleri

	Yatay katot levha sıkıştırma presi kullanımı öncesi	Yatay katot levha sıkıştırma presi kullanımı sonrası
Proses için çalışan personel sayısı	8 Personel	2 Personel
Personellerin proses için çalışma süresi	8 Saat	2 Saat
Vinç Kullanımı	-	2 Saat
Toplam Personel Gideri	64 Adam x Saat	4 Adam x Saat

Bu çalışma neticesinde ilk olarak mühendislik tasarım uygulamaları ile problem ya da talebi karşılamak üzere ihtiyaçların belirlenmesi, belirlenen ihtiyaçlara uygun

tasarım yapılması, yapılan tasarımın bilgisayar destekli mühendislik uygulamaları ile doğrulanması, tamamlanan tasarımın kontrol için bilgisayar destekli mühendislik yazılımları ile modellenmesi ve simülasyonun yapılması adımları işlenmiştir. Çalışma kapsamında modelleme ve mühendislik uygulamaları hidrolik sistem ağırlıklı işlem adımları aktarılmış olup imalat ve imalat yöntemleri ile alakalı çalışmaların tamamı Tesakom Makine Maden Kimya Danışmanlık Limited Şirketi bünyesinde tamamlanmıştır. Bu tezde bahsedilen makine tamamen yerli mühendislik ve imalatlar ile başarı ile tamamlanmış bir projenin ürünüdür ve müşteri memnuniyeti ile çalışmaktadır.

Çalışma sonucunda prototip imalatı yapılan ürüne ait atölye imalat görselleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 'de gösterilmiştir. Tasarım sürecindeki uygulamalar ile yapılan prototip imalatı üretim sürecindeki geri dönüşleri ve üretimde oluşabilecek ilave maliyetleri engellemiştir.



Şekil 5.1 YKLP atölye imalat ve test görseli



Şekil 5.2 YKLP atölye imalatı ve kalıp plakaları

Atölye imalatı ve test çalışmaları tamamlandıktan sonra YKLP kullanılacağı tesiste kurulum süreci ve saha testleri ile başarılı sonuçlar almıştır. Şekil 5.3’de kurulumu tamamlanmış olarak gösterilen makine, Şekil 5.4’de test sonucu makine prosesi tamamlanmış plakaları ile beraber gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Tesis kurulumu tamamlanmış makine görseli



Şekil 5.4 Makine tarafından düzeltilmiş ve form verilmiş plaka

Materyal ve yöntem bölümünde bahsedilen adımlar ile tasarım çalışmaları yapılarak sistem ortaya çıkarılmış, ardından hidrolik sistemin modellenmesi ile kontrol çalışmaları yapılmıştır. İlgili aşamaların detayları ve sonuçları araştırmalar ve tartışma bölümünde aktarılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında makine için gerekli parametreler belirlenerek çalışması için gerekli özellikleri belirlenmiştir. Özellikleri belirlenen makinenin boyutları ile beraber üç boyutlu tasarımı SolidWorks yazılımı üzerinden tamamlanmıştır. Çalışmanın bu kısmı hidrolik sistem için gerekli yük ihtiyacı, hidrolik güç ünitesi tasarımı ile beraber üç boyutlu tasarımı yapılarak tamamlanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise, tasarımı yapılan üç boyutlu modelin SolidWorks Simulation yazılımı ile tasarım doğrulama çalışmaları bulunmaktadır. Doğrusal statik analiz ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak makinenin analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, ilk olarak hidrolik sistemin modeli MATLAB SimHydraulic yazılımı üzerinden oluşturulmuştur. Ardından MATLAB SimMechanics

üzerinden SolidWorks yazılımı üzerinden sadeleştirilerek elde edilen katı modelin mekanik modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan iki modelim MATLAB Simulink modülü üzerinden entegrasyonu yapılmıştır. Böylece sistemin gerçekçi modelinin konum kontrol simülasyonu tamamlanmıştır.

Kapalı çevrim kontrol modeli için sisteme verilen referans konum sinyali ile mekanik modelin piston hareketi yön valfinin üzerinden kontrol edilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında hassas kontrol için MATLAB Control System modülü ile optimizasyon yapılarak kontrol kazanç parametreleri elde edilmiştir. Hidrolik sistem için iki farklı referans giriş sinyaline göre elde edilen sonuç başarılı şekilde kontrolün sağlandığı yönünde olmuştur. Farklı senaryolarda aynı sistemin kontrolü için kullanılan parametrelerin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Hidrolik sisteme entegre edilen katı model ile elde edilen sonucun başarılı olması için kontrol parametrelerinin değişmesi gerektiği gözlemlenmiştir. MATLAB Control System modülü ile kazanç parametreleri elde etmek istendiğinde yazılımın tepkisi gerçek doğrulukta olmamıştır. Bu optimizasyon esnasında hidrolik sistemde elde edilen parametreler üzerinden yaklaşımlar ile hassas kontrol sağlanmıştır. Kontrol ile beraber katı modelin hareket simülasyonu da başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Böylece; modelleme için gerçek duruma yaklaşıldıkça hassasiyetin arttığı, verilerin değişebildiği gözlemlenmiştir. Fakat sadeleştirilmiş adımlar ile elde edilen sonuçların gerçek duruma yaklaşıldıkça yön gösterici olabileceği anlaşılmıştır. Bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarının önü çok açık olmakla beraber gelişen bilgisayar ve yazılımlar ile ilerlemeye devam etmektedir. Bu noktada gerekli hassasiyeti; en kısa ve gerekli doğrulukla elde edecek yöntem ve modeller seçilmelidir.

Proje sonucu oluşturulan tasarım yapılan sonlu elemanlar analizleri ile doğrulanmış, 1,5 kat emniyetli olarak neticelenmiştir. Ayrıca hidrolik silindirlerin yükünün geometri üzerinde yük dağılımının başarılı şekilde gerçekleştiği, böylece şaseye aktarılan yük ile mukavemetin sağlandığı gözlemlenmiştir. Konum kontrolü için sağlanan simülasyon maksimum %2 sapma ile %98 gibi yüksek bir hassasiyet elde edilmiş, sistemin debi ve basınç değerlerine göre başarılı bir netice olarak yorumlanmıştır. Kontrol parametreleri hidrolik sistem modeli ve katı-hidrolik bağlantılı gerçekçi model için Çizelge 5.2'de verildiği şekli ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Elde edilen PID kontrol parametreleri

PID kontrol parametreleri	Hidrolik model	Hidrolik-katı model
P (ORANSAL)	19.6	12
I (İNTEGRAL)	7.8	18
D (TÜREVSEL)	20	8

Bu çalışma sonucu elde edilen veriler ile tamamlanan tasarım, üretilerek gerçek bir proje çıktısı olarak prototip imal edilmiştir. Başarılı bir araştırma ve geliştirme çalışmalarının neticesi olarak ortaya çıkan çalışmanın; uygulanan yöntemin, yol ve aşamaları ile literatürde yön gösterici olabilecek bir çalışma olacağını söylemek mümkündür.

Endüstriyel bir talep neticesi ortaya çıkan prototip ürünün kullanım verilerine ve ortalama fiyatına göre yaklaşık bir fizibilite değerlendirmesi mümkün görünmektedir. Prototip makinenin kullanıcı firmaya olan maliyeti ve kullanım sonrası azalacak maliyetlerinin kıyaslanmasıyla Çizelge 5.3’de görülen fizibilite çalışması makinenin maddi olarak yatırım uygunluğunu göstermektedir. Çizelgede görüldüğü şekilde yatırım maliyeti ve kurulum giderlerini makine 1,5 yıl gibi kısa bir sürede kazandırmaktadır.

Çizelge 5.3. Yaklaşık ekonomik fizibilite tablosu

	Mevcut Durum	Yatay Katot Levha Presi (YKLP) Kullanıldıktan Sonraki Durum
Proses Esnasında Kısa Devre Sorunu İle Satışı Yapılamayacak Ürün Yeniden İmalat Bedeli	2.400.000 TL / YIL	0 TL
Proses İçin Harcana Personel Gideri	360.000 TL /YIL	21.600 TL /YIL
Proses İçin Kullanılan Makine, Ekipman Bedeli	12.000 TL / YIL	6.000 TL / YIL
YYKLP Makine Elektrik Gideri	0 TL	5.000 TL/YIL
YYKLP Makine Yıllık Bakım Ve Onarım Gideri	0 TL	150.000 TL/ YIL
TOPLAM Tutar / YIL	2.772.000 TL	182.600 TL
YYKLP Makine Bedeli	0 TL	3.000.000 TL
YYKLP Makine Kurulum Giderleri	0 TL	1.000.000 TL

5.2 Öneriler

Bu çalışma sonucu elde edilen tasarım, analiz, modelleme ve kontrol çalışmaları benzer sistemlerin tasarlanabileceği konusunda yol haritası niteliği taşıyacak türdedir. Bu sebeple kullanılan yöntemler ve tasarım adımları yeni bir makine tasarımında ve prototip imalatında kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca çalışmada kullanılan modelleme ve kontrol simülasyonları literatüre ve katma değerli ürün olarak endüstriye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Adenuga O.T., Mpofu K., 2014, Control system for electro – hydraulic synchronization on RBPT, Variety Mangement in Manufacturing: Proceedings of the 47th CIRP Confernce on Manufacturing Systems, 835-840.
- Amirante R., Distaso E., Tamburrano P., 2014, Experimental and numerical analysis of cavitation in hydraulic proportional directional valves, Energy Conversion and Management, Volume 87, 208-219.
- Bi D.S., Liu D.D., Chu L., Zhang J., 2011, Finite element analysis of frame -type hydraulic press, Advanced Material Research Vols. 199-200, 1623-1628.
- Biber S., 2014, Parabolik (Yaprak) yay üretiminde hidrolik oransal servo uygulamalar, Uluslararası Katılımlı VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi,93-107.
- Çınar E., Ulaş H.B., Bilgin M., 2013, Hidrolik silindirin bulanık mantık yöntemi ile konum kontrolü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(3) Cilt: 29, Sayı: 3, 214-229.
- Demetgül M., Yazıoğlu O., 2007, Çift etkili silindirin servo valfle konum kontrolünün modellenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 43-48.
- Duan Z., Wu J., 2011, Topological optimization of frame of high speed hydraulic press based on generalized finite element modules, Applied Mechanics and Materials, Vols 44-47, 1828-1832.
- Elmas F.M.M., Turhan O.N., Dilmeç M., 2019, H tipi hidrolik pres gövdesinin yapısal analizi ve optimizasyonu, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı: 7, 124-135.
- Eryılmaz B., Wilson B.H., 2006, Unified modelling and analysis of a proportional valve, Journal of the Franklin Institute,48-68.
- Fındık A., 2004, Mekanik saç şekillendirme pres tasarımında sistematik konstrüksiyon ve sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,4-78.
- Güceyü Ö., 2013, Bir hidrolik sistemin PID algoritmaları konum kontrolü, T.C. İnönü Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi,11-36.
- Güler H., 2008, İnce saçların desenleme yöntemi ile mukavemetinin artırılması, T.C. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 10-65.
- Gültekin İ.İ., Cömert S.A., Şahin A., Erkal G., Karakoç E.M., Ünlüsoy Y.S., Balkan T., 2017, Tarım traktörlerinde kullanılan ön yükleyicinin hidrolik sisteminin modellenmesi ve simülasyonu, VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 1-7.
- He Q.H., Hao P., 2008, Modelling and parameter estimation for hydraulic system of excavator's arm, Journal of Central South University of Technology. 15, 382-386.

- İstif İ., Kutlu K., 2004, Oransal valf kontrollü hidrolik sistemin konum kontrolü, itüdergisi/d mühendislik. Cilt: 3, Sayı: 2-3-4-5, 77-86.
- Le Q.H., Jeong Y.M., Nguyen C.T. and Yang S.Y., 2013, Development of a virtual excavator using Simmechanics and Simhydraulic. J Korean Soc. Fluid Power Constr. Equip. Vol.10 No.1,29-36.
- Li K., Mannan M.A., Xu M., Xiao Z., 2001 Electro – hydraulic proportional control of twin cylinder hydraulic elevators, Control Engineering Practise, Volume 9, Issue 4, 367-373.
- Malipatil S.S., Potdar Y.N., Mattikalli A.C., 2014, Analysis and structural optimization of 5 ton H-Frame hydraulic press, IJSET – International Journal of Innovative Science Engineering & Technology Vol 1 Issue 5,356-360.
- Mathworks Documentation Help Center How PID Autotuning Work [Online] <https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/how-pid-autotuning-works.html>, [Ziyaret Tarihi: 01 Mayıs 2020]
- Mihai D.L., Ştefan D.L., 2010, A finite element analysis of hydraulic cylinder of linear hydraulic motor from horizontal hydraulic press – 2 MN, Journal of Engineering Studies and Research – Volume 16, No:4, 54-62.
- More R.S., Kulkarni S.R., 2015, Finite element analysis and optimization of C types hydraulic 200 ton press, International Research Journal of Engineering and Technology Volume 02, 1385-1391.
- Naik A.G., Mondaygade N.K., 2012, FEA Implementation in analysis and optimization of top and bottom frame for hydraulic cotton, Lint bailing press, International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 3, Issue 7, ISSN, 229-5518.
- Olabanji O.M., Mporu K., 2019, Physical modelling, simulation and experimental analysis of synchronizing multiple hydraulic actuators, Internal Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME – IJENS Vol. 19, No:4, 122-136.
- Raz K., Kuyec V. Cechura, 2014, Dynamic behavior of the hydraulic press for free forging science direct 25th, DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. 885-890.
- Renn J.C., Tsai C., 2004, Development of an unconventional electro – hydraulic proportional valve with fuzzy-logic controller for hydraulic presses, 10-16.
- Sezgen H.Ç., 2016, H tipi hidrolik presin topolojik optimizasyonu ve konum kontrolü, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 32-88.
- Sinha S.P., P.D. Murarka, 1988, Computer aided design of hydraulic press structures, Math Comput. modelling. Vol. 10, No.9, 637-645.

Tekalsan Ö., Gerger N., Şeker U., 2008, V Bükme kalıplarında bakır sac malzemelerin geri esneme miktarlarının tespiti, Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakülte Cilt:23 No: 1, 231-238.

Topçu E.E., Şengirgin M., Yüksek İ., 2011, Servovalf kumandalı elektrohidrolik bir konum denetim sisteminde karşı yükün etkisinin incelenmesi, IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi.101-107.

Vechet S., Kresja J., 2009, Hydraulic arm modelling via MATLAB Simhydraulics, Engineering Mechanics, Vol. 16, 287 – 296.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet ÖZTÜRK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya – 15.05.1994
Telefon : 0 543 575 15 05
Faks : -
e-mail : ahmetozturk926@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Atatürk Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2012
Üniversite	: KTO Karatay Üniversitesi, Karatay, Konya	2017
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	-
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2017	Kentpar Otomotiv Ltd. Şti.	Ar – Ge Mühendisi
2017-2020	Tesakom Mak.Mad.Kim.Dan. Ltd.Şti.	Proje & Tasarım Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Makine ve Sistem Tasarımı
Bilgisayar Destekli Mühendislik Uygulamaları
Proje ve Süreç Yönetimi

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

Hobiler: Teknoloji,Doğa ve Otomotiv.

YAYINLAR