

## HİDROLİK SİMÜLATÖR TASARIMI

H. Ersel ÖNER  
M. Burak GÜRÇAN  
İlhan BAŞÇUHADAR  
Tuna BALKAN

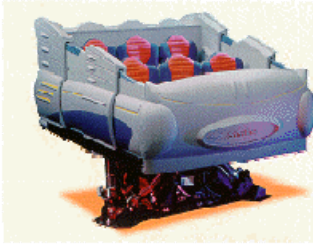
### ÖZET

Bu çalışma, ASELSAN A.Ş.'de yürütülmekte olan bir proje kapsamında tankın stabilizasyon testlerini yapmak için kullanılacak bir Hidrolik Hareket Simülatörü'nün tasarımını içermektedir. İki adet açısız hareket serbestliğine sahip bu simülatörün mekanik tasarımı I-DEAS® katı modelleme yazılımı ile yapılmıştır. Bu modelden yararlanılarak simülatörün kinematik ve dinamik modelleri hazırlanmıştır. Hazırlanan kinematik ve dinamik modeller MATLAB®/SIMULINK ortamına aktarılmıştır. Hidrolikle sürülecek simülatör için hazırlanan hidrolik sistem modeli, kinematik ve dinamik modele dahil edilmiş ve simülatörün denetimi yapılmıştır. Bilgisayar ortamında MATLAB®/SIMULINK kullanılarak hazırlanan model ile, hidrolik güç ünitesinin debi ve basınç gereksinimleri ile hidrolik tahrik silindiri üzerine düşen kuvvetler bulunmuştur. Bu sistem gereksinimleri kullanılarak tasarlanıp imal edilmiş olan Hidrolik Hareket Simülatörü ile, tankın hareketi esnasında yerden gelen açısız hareketler kuleye aktarılarak kulenin stabilizasyon performansının laboratuvar ortamında benzetimi yapılabilmektedir.

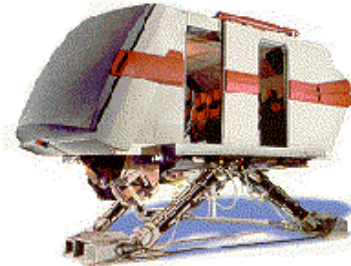
### 1. GİRİŞ

Tank atış kontrol sistemi geliştirme projesi, şu anda varolan atış kontrol algoritmasının teknolojik gelişmelere uygun sayısal ekipmanlarla modernleştirilmesini ve stabilizasyon hassasiyetinin geliştirilmesini kapsamaktadır.

APG (Aberdeen Proven Ground) ve sinüs parkurlarından geçilerek yapılan stabilizasyon hassasiyeti testlerinin laboratuvar ortamında yapılabilmesive bu sayede daha az kaynak kullanılarak daha kısa zamanda stabilizasyon performansı geliştirme çalışmalarının tamamlanabilmesi için hidrolik bir hareket simülatörü geliştirilmiştir. Bu simülatör sayesinde APG ve sinüs parkurlarından geçerken kule üzerinde oluşan bozucu açısız hızların simüle edilmesi mümkün olmuştur.



a) Eğlence için kullanılan simülatör



b) Eğitim simülatörü



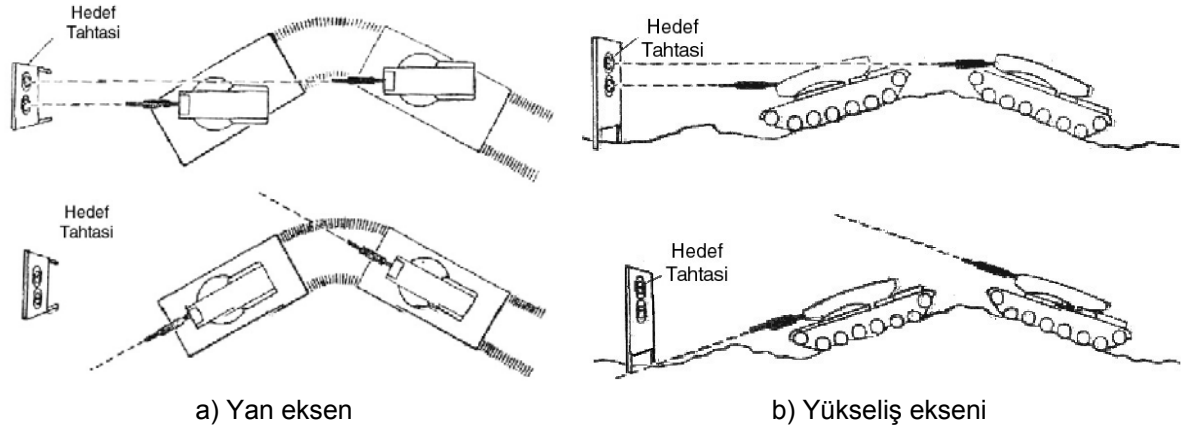
c) Stewart platformu

Şekil 1.1. Simülatörlerin Kullanım Alanları

Simülatorler test, eğlence ve eğitim amaçlı olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Serbestlik derecesi (SD) arttıkça fiyatları çok büyük mertebelere ulaşmaktadır. 6 SD'li simülator platformlarının genel yapısı Stewart platformudur ve bu simülatorler taşıma kapasitelerine göre servo motorla veya hidrolikle sürülebilmektedirler. 6 adet hidrolik silindire hareket ettirilen Stewart platformu kinematik ve kontrol yapısı çok karmaşık bir sistemdir. Atış kontrol sistemi için gerekli olan simülatorün 2 SD'ye sahip olması ve taşıma kapasitesinin 12,000 kg olması istenmektedir. Yapılan araştırmalarda bu taşıma kapasitesine sahip 6 SD'li Stewart platformu, maliyetinin yüksek olması ve 2 SD'li bir platformun ihtiyacı karşılaması nedeniyle tercih edilmemiştir.

## 2. STABİLİZASYON TESTİ

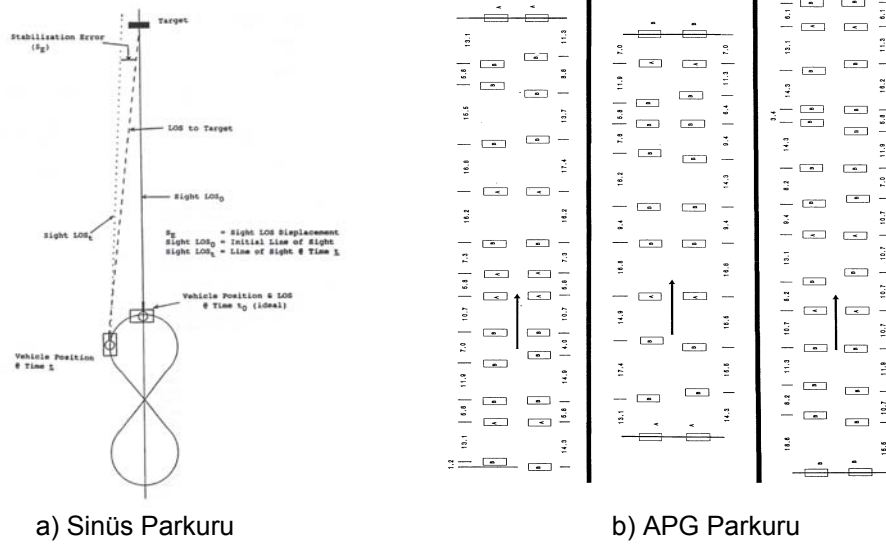
Günümüz teknolojisinde tanklar için atış performansı durarak yapılan atışlarla değil, tank hareket halindeyken yapılan atışlarla ölçülmektedir. Tank hareket halindeyken atış yapılabilmesi amacıyla namlu stabilizasyon sistemi bulunmaktadır. Stabilizasyon sistemi, tank hangi konum değişimlerine uğrarsa uğrarsın namlunun yere göre açılma konumunun sabit kalmasını sağlar. Bir başka deyişle, stabilize olmayan sistemde namlunun yere göre açılma konumunun sabit kalabilmesi için operatörün müdahalesi gerekirken, stabilize sistemde kontrol algoritması sayesinde böyle bir müdahaleye gerek kalmamakta böylece hedefin takip edilmesi kolaylaşmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Stabilizasyon sisteminin etkisi

Stabilizasyon testi APG parkuru (Yükseliş Eksenini Stabilizasyonu) ve Sinüs parkuru (Yan Eksen Stabilizasyonu) olarak iki farklı aşamadan oluşmaktadır (Şekil 2.2).

APG parkuru testi, aracın belirli bir hızda, çeşitli boyutlardaki ve belirli bir düzene göre yerleştirilmiş tümsekler üzerinden geçirilmesi testidir. Bütün parametreler standartlarla belirlenmiştir. Bu sırada silah sisteminin hedeften yükseliş yönündeki sapma değerleri tespit edilerek sistem performansı belirlenir. Sinüs parkurunda ise araç parkurda 8 rakamı çizer. Yan eksenindeki hareket, genliği büyük bir sinüs hareketini andırır ve bu ekseninde hedeften sapma değerleri tespit edilir [1].



Şekil 2.2. Stabilizasyon test parkurları

Stabilizasyon testleri ve veri kayıt işlemi çok zaman ve emek istemektedir. Hatta bazı durumlarda testin tekrarına ihtiyaç duyulmaktadır (örneğin elektriksiz bağlantılardan birinin kopması sonucu bir değer okunamaması, tüm verilerin eş zamanlı değerlendirilmesi gerektiğinden, deneyin tekrarlanmasına neden olmaktadır). Bunun yanında kullanılmış tankların dinamik özelliklerinin bir tanktan diğerine geçildiğinde farklılık göstermesi nedeniyle her bir tankın, kontrol parametrelerinin teker teker ayarlanması gerekmektedir. Bu nedenlerle, stabilizasyon testinin laboratuvar ortamında yapılması gereği ortaya çıkmıştır ve Hidrolik Hareket Simülatörü yapılmasına karar verilmiştir.

Tank kulesi iki serbestlik derecesine sahiptir;

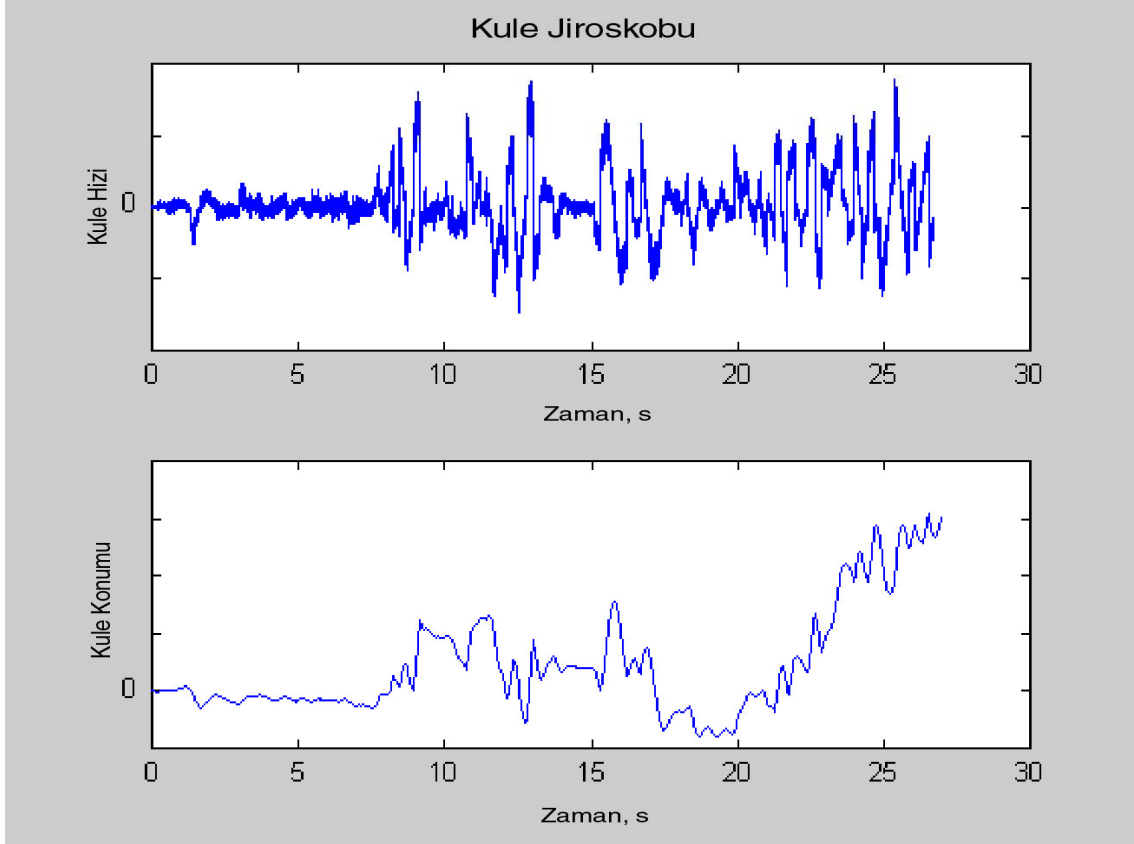
- Yan-sapma (yaw)
- Yükseliş-yunuslama (pitch)

İki eksenli simülatör sistem testi için gerekli bozucu açısal değişimleri sağlayacaktır. Dolayısıyla test simülatörünün yükseliş ve yan eksenindeki hareketleri, tankın hareketini simüle edecektir.

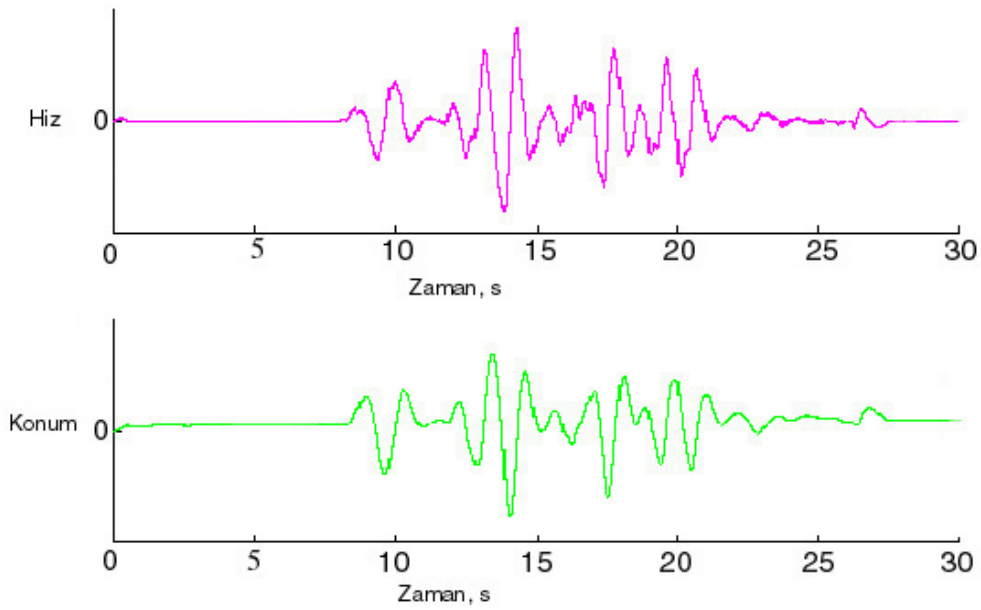
### 3. SİMÜLATÖR GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Simülatör gereksinimlerinin belirlenebilmesi için, test parkurlarından geçerken kule üzerinde oluşan bozucu açısal hızlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle, APG ve sinüs parkurlarından geçerken tank üzerine yerleştirilen jiroskoplara yan ve yükseliş eksenlerinde oluşan bozucu açısal hız değerleri kaydedilmiştir. Aşağıda tank kule jiroskobundan elde edilen grafik verilmiştir (Şekil 3.1). Ölçülen hız değerleri, tankın parkurdan geçiş hızına bağlı olarak değiştiği için grafiklerde y-ekseni değerleri verilmemiştir.

Tank motorunun çalışmasından dolayı yüksek frekansta mekanik gürültüler ve diğer elektronik elemanların oluşturduğu elektronik gürültüler nedeniyle bu hız değerinden türetilerek elde edilen ivme değerleri çok yüksek çıkmaktadır. Ayrıca yukarıdaki grafikte hızın integrali alınarak elde edilen konum bilgisinin sıfır civarında salınması beklenmektedir. Oluşan bu hataların gürültülerden kaynaklandığı düşünülmüş ve elde edilen veriler filtrelenerek, aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.2).



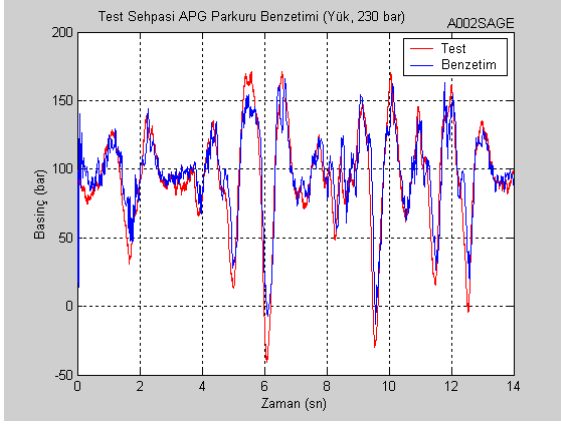
Şekil 3.1. Kule jiroskobu grafiği



Şekil 3.2. Kulenin filtrelenmiş açısal hız ve konumu



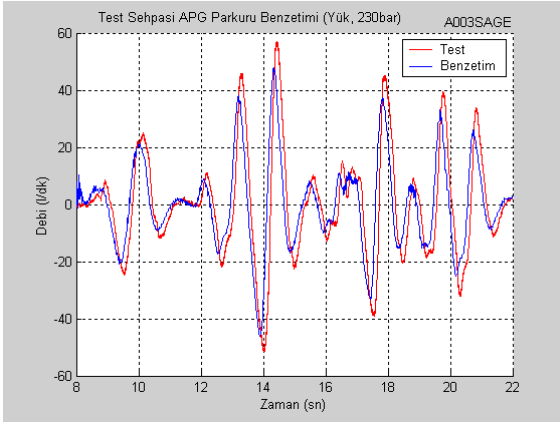




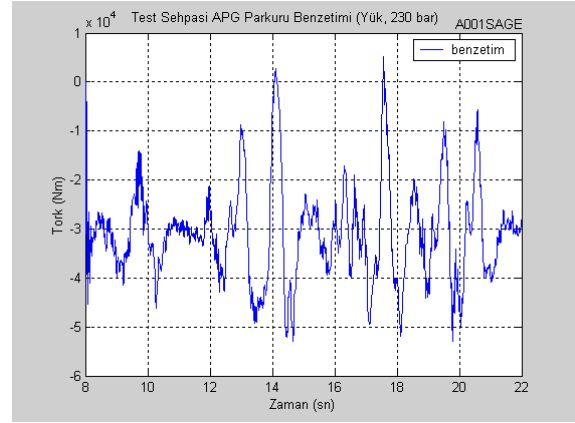
a) Basınc,  $P_2-P_1$  (bar)



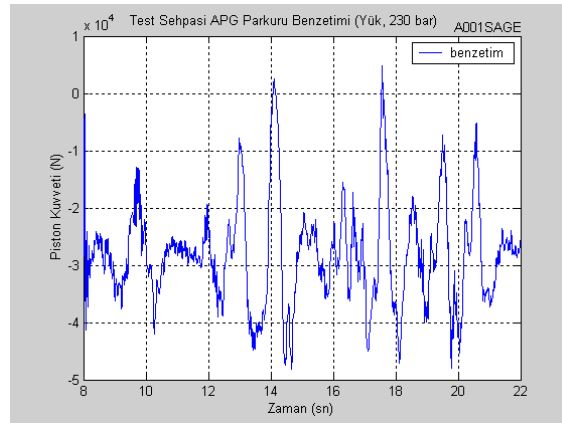
b) Yükseliş Ekseni Hızı (rad/s)



c) Debi (l/dk)



d) Yükseliş Ekseni Sürme Torku (Nm)



e) Yükseliş Pistonu Sürme Kuvveti (N)

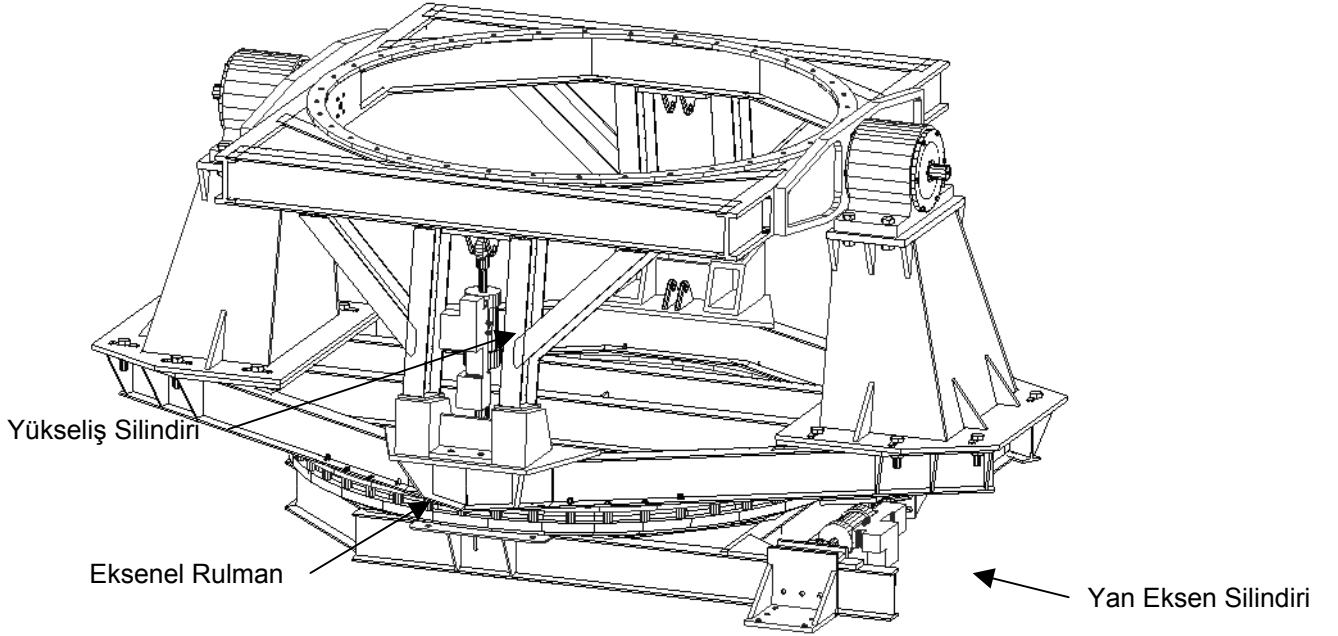
Şekil 4.3. Hidrolik hareket simülasyonu benzetim ve test sonuçları

## 5. SİMÜLATÖR MEKANİĞİ

Titreşim platformu yükseliş ve yan olmak üzere 2 serbestlik derecesine sahiptir. Her iki eksen aynı anda sürülebilmektedir. Yükseliş eksenindeki hareket üst tablaya bağlı olan ve güvenlik ayaklarının arasındaki hidrolik silindire sağlanmaktadır. Yan eksen ise bir tarafı yere rijit bir şekilde bağlanmış hidrolik silindire sürülmektedir. Tüm sistemin tasarımı I-DEAS® katı model yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Titreşim Platformu 3 ana parçadan oluşmaktadır;

- Üst Tabla
- Taşıyıcı Yan Kolonlar
- Alt Montaj ; Bağlantı Çerçevesi, Eksenel Rulman (Bilezik Dişli), Yere Bağlantı Çerçevesi



Şekil 5.1. Titreşim platformu

Sistem mekanik hesaplarında bir çok indirgemeler ve benzetimler yapılarak modeller oluşturulmuştur. Bu modeller sayesinde simülörün dayanım hesapları HEXAGON® ve SAM® programı kullanılarak yapılmıştır. Mekanik sistemin teknik özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Simülör Mekanik Donanımı Teknik Özellikleri

Yükseliş Eksen	Max. Açısal İvme	2 rad/s <sup>2</sup>
	Max. Açısal Hız	0.3 rad/s
	Açısal Hareket Miktarı	±5°
Yan Eksen	Max. Açısal İvme	2 rad/s <sup>2</sup>
	Max. Açısal Hız	0.3 rad/s
	Açısal Hareket Miktarı	±5°
Taşıma Kapasitesi		12,000 kg



## 6. SİMÜLATÖR HİDROLİK SİSTEMİ

### 6.1. Simülasyon Hidrolik Sisteminin Basınç ve Debi Gereksinimi

Yükseliş eksen hız gereksinim değerine göre, maksimum hidrolik silindir hızı;

$$\dot{y} = r \cdot \dot{\theta} \quad (6.1)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada,

- $\dot{y}$  : Hidrolik silindir hızı
- $r$  : Hidrolik silindir moment kolu
- $\dot{\theta}$  : Yükseliş eksen açısal hızıdır.

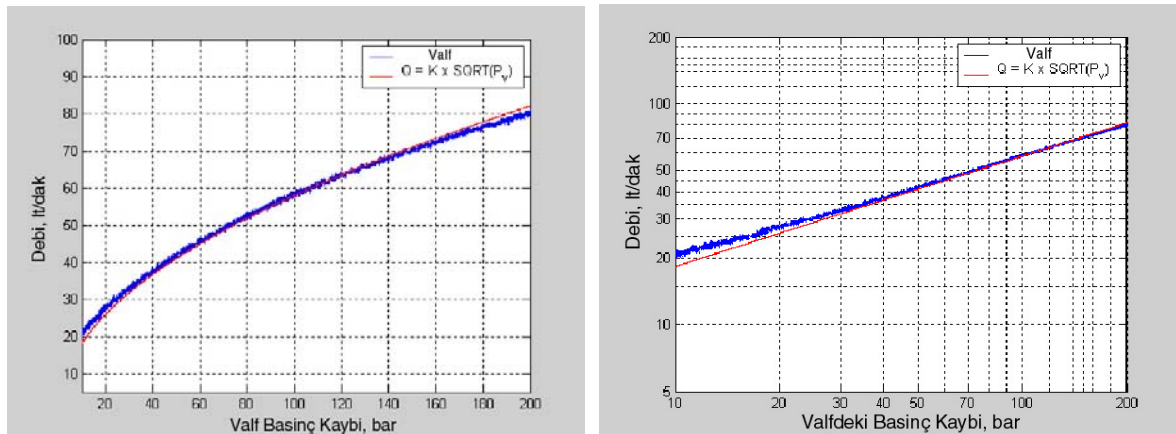
$r = 1.15$  m ve  $\dot{\theta} = 0.3$  rad/s alınır, hidrolik silindir hızı yaklaşık  $\dot{y} = 0.3$  m/s olarak hesaplanır.

Sistemin debi ( $Q$ ) gereksinimi ise maksimum hidrolik silindir hızı ve hidrolik silindir kesit alanı cinsinden

$$Q = \dot{y} \cdot A \quad (6.2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada;  $A = 0.003$  m<sup>2</sup> alınır, debi gereksinimi  $Q = 54$  l/dk olarak hesaplanır. Debi gereksinimi, Şekil 4.3.c'den görüleceği üzere, benzetim sonucu ile de örtüşmektedir.

Simülasyon için, silindirlerin kontrolünde kullanılan servovalflerin valf kazancı (geçirgenlik katsayısı)  $K$ , değerinin bulunması gerekmektedir. Kullanılan servovalflerin valf kazancı için katalog değerine ulaşılamadığından bu değer deneysel yoldan bulunmuştur. Bu amaçla servovalf üzerinde  $Q$ - $P$  ölçümü yapılmıştır. Makara %100 açık iken, valf üzerine basıncı 10 ile 200 bar arasında değişen bir akış uygulanmış ve debi ( $Q$ ) ölçülmüştür. Bu deneysel çalışma sonucu valf karakteristiği eğrisi hazırlanmıştır. Elde edilen gerçek sistem eğrisi ve bu eğriye çakıştırılan teorik ( $K = 4.7 \cdot 10^{-5}$ ) eğrisi aşağıdaki grafikte verilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Valf karakteristiği

Valfdan maksimum debi akarken valf üzerindeki basınç kaybı;

$$P_v = \left( \frac{Q_v}{K \cdot x} \right)^2 \quad (6.3)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde;

- $P_v$  : Valfteki basınç kaybı  
 $Q_v$  : Valf debisi  
 $x$  : Valf makara konumu  
 $K$  : Valf geçirgenlik katsayısı olarak tanımlanmıştır.

$Q_v = 54$  l/dk,  $x_{\max} = 0.0065$  m,  $K = 4.7 \cdot 10^{-5}$  alınarak yukarıdaki formülde yerlerine konulursa,  $P_v \cong 86$  bar olarak bulunur.

Hidrolik sistemde hortumlar kısa tutulmuş, boru ve dirseklerde özel tedbirler alınarak basınç hattındaki basınç kayıpları azaltılmış ve bu kayıplar  $P_v$  hesabına dahil edilmiştir. Bu durumda gerekli toplam basınç ( $P_T$ ), yük basıncı ( $P_L$ ) ve valfdeki basınç kaybının ( $P_v$ ) toplamına eşittir;  $P_T = P_L + P_v$ . Maksimum hidrolik silindir kuvvetinden yük basıncı  $P_L = 155$  bar olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan yük basıncı değeri, Şekil 4.3.a'dan görüleceği üzere, benzetim sonucu ile de örtüşmektedir. Bu durumda toplam basınç  $P_T = 241$  bar olarak bulunur.

Pompa ve motor verimleri de hesaba katılarak yukarıda bulunan debi ve basınç ihtiyaçlarından gerekli güç 25 kW olarak bulunmuştur. Her iki ekseninde de (yan ve yükseliş) aynı basınç ve debi ihtiyacı olacağı düşünülerek 50 kW güce ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Bu değere en yakın elektrik motoru 45 kW gücünde olduğundan sistemi daha büyütmemek ve fiyatı artırmamak amacıyla 45 kW'lık motor seçilmiş ve her iki eksenin de aynı anda maksimum güçle sürülmesi halinde bir miktar performans kaybına razı olunmuştur.

Yukarıda belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda  $80 \text{ cm}^3/\text{dev}$  anma hacmine sahip ve 70 l/dk debi sağlayabilen radyal pistonlu pompa kullanılmıştır. Hidrolik sistemin bulunacağı bölgede gürültünün az olması istendiği için hidrolik pompayı süren elektrik motoru düşük devirli (900 dev/dk) seçilmiştir.

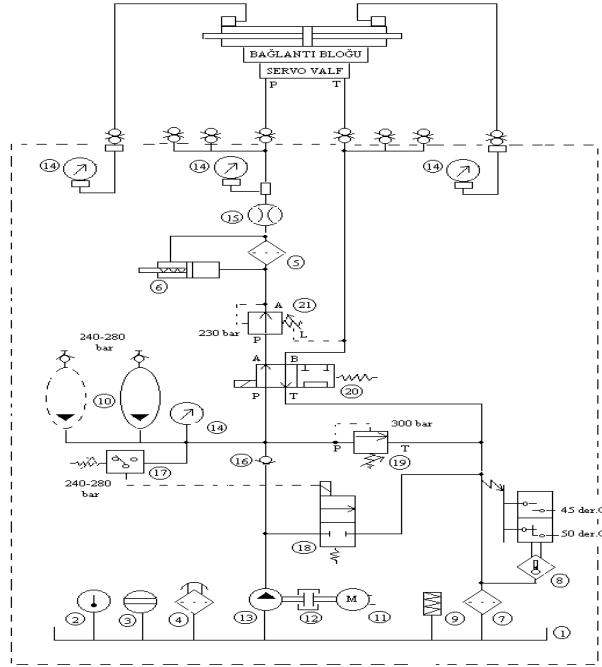
Ayrıca anlık debi ihtiyaçlarında sisteme debi sağlamak ve basıncın düşmesine engel olmak için 35 litrelik akümülatör kullanılmıştır ve ihtiyaç durumunda aynı akümülatörden bir tane daha eklenebilmesi için gerekli bağlantı detayları hazır bulunmaktadır.

Hidrolik devre çalışma basıncı 10-300 bar arasında ayarlanacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca sistemde ihtiyaç olan bölgelerden ölçümler alınmasını sağlayacak altı adet basınç ölçer ve bir adet debi ölçer mevcuttur. Yağ viskozitesinin tüm çalışma boyunca yaklaşık sabit kalması için sisteme yağ ısıtıcı ve soğutucu eklenmiştir. Yağ sıcaklığı  $40^\circ\text{C}$ 'nin altında ise  $40^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmakta ve yağ sıcaklığı  $50^\circ\text{C}$ 'nin üstünde ise  $45^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutulmaktadır.

Emniyet tedbiri olarak, titreşim platformunun çeşitli bölgelerinde ve çalışmanın izlenme bölgesinde sistem acil durum şalterleri, sesli ve ışıklı ikaz lambaları bulunmaktadır. Hidrolik sistem uzaktan kumanda birimi ile uzaktan açılıp kapatılabilmektedir.

## 6.2. Hidrolik Güç Ünitesi

Hidrolik güç ünitesinin Şekil 6.2'de devre şeması, Şekil 6.3'de ise fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 6.2. Hidrolik güç ünitesi devre şeması

- Yağ tankı : 400 l
- Sıcaklık göstergesi : 0°C - 80°C aralığında.
- Seviye göstergesi : Min / max göstergeli.
- Depo kapağı : Havalandırmalı, filtrelili.
- Basınç hattı filtresi : Abs. 10 µm filtreleme.
- Kirlilik göstergesi
- Geri dönüş filtresi : Abs. 25 µm (yağ ve suyu ayrıştırabilen özellikte).
- Havalı soğutucu:
- Isıtıcı : 1500 W
- Akümülatör : 35 l, 300 bar
- Elektrik motoru : 45 kW
- Kavrama
- Radyal pistonlu pompa : 80 cm<sup>3</sup>/dev
- Gliserinli manometre : 0 - 350 bar
- Debimetre : 0 - 70 l/dk, 0.1 l/dk okuma hassasiyetli.
- Katıç tipi çek valf : Akümülatör tipi, 350 bar.
- Basınç anahtarı : 150 – 350 bar ayarlı.
- 2/2 basınç boşaltma valfi : 24 VDC, 100 l/dk,  $\Delta P_{max} = 2$  bar
- Basınç emniyet valfi : 50 – 300 bar, 100 l/dk (akümülatör tipi).
- 4/2 yön denetim valfi : 24 VDC, 100 l/dk,  $\Delta P_{max} = 2$  bar
- Basınç ayar valfi : 50 – 300 bar, 100 l/dk (akümülatör tipi)



Şekil 6.3. Hidrolik güç ünitesi

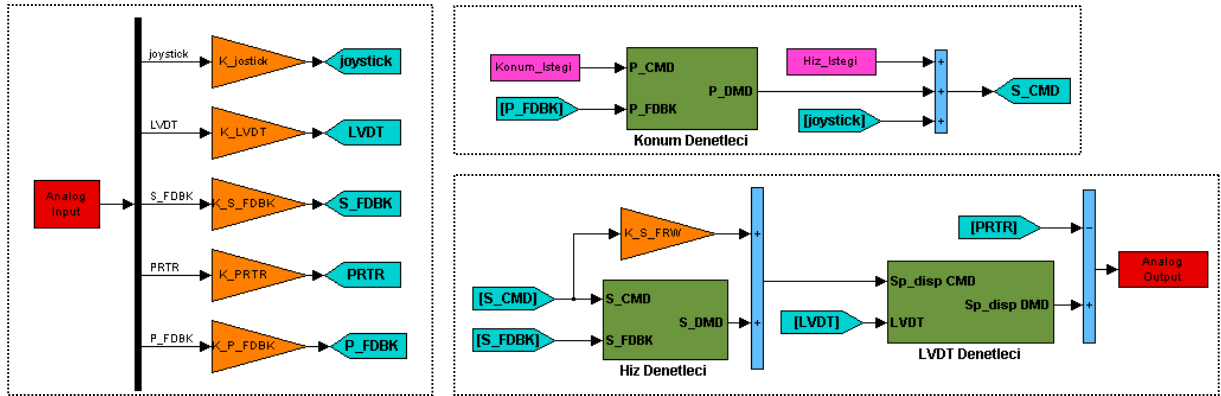
## 7. SİMÜLATÖRÜN DENETİMİ

Hazırlanan Hidrolik Simülator'ün denetimi, MATLAB®/SIMULINK ortamında oluşturulan denetim modeli ile MATLAB®/RTWT (Real-Time Windows Target) yazılımı kullanılarak PC üzerinden yapılmıştır.

MATLAB®/SIMULINK ortamında hazırlanan denetim modelinde iki denetim algoritması çalışmaktadır;

Simülator Yükseliş Ekseni Kontrol Algoritması  
Simülator Yan Eksen Kontrol Algoritması

Birbirine benzer yapıda olan bu algoritmalara ait şema Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Sistemin MATLAB®/SIMULINK Ortamında Hazırlanan Denetim Modeli

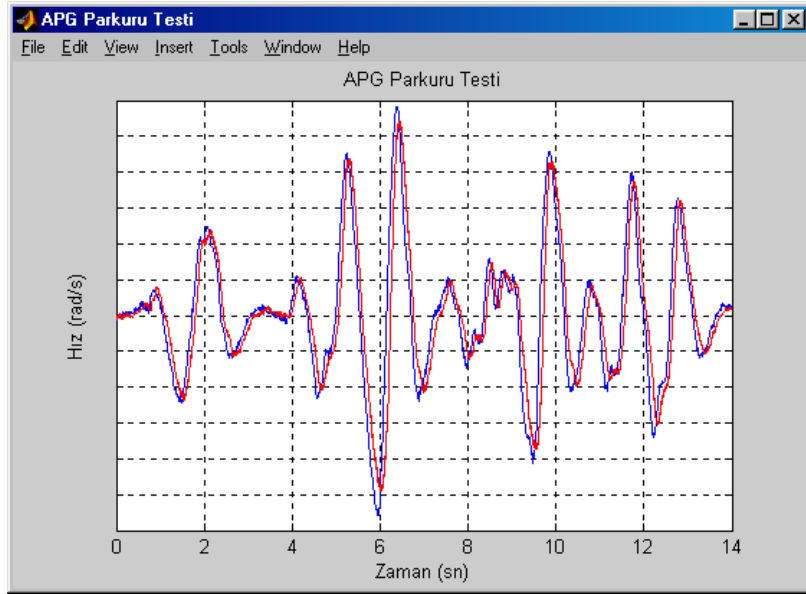
Denetim algoritmasında kullanılan denetleç parametreleri ile geri besleme sinyallerinin kazanç değerleri MATLAB®/SIMULINK ortamında hazırlanan simülator benzetimi çalışması ile belirlenmiştir.

Geri besleme sinyallerinin PC ortamına alınması ve denetim sinyalinin sisteme gönderilmesi veri toplama kartı ile yapılmaktadır. Bu kart üzerinden iki eksen için toplam sekiz sinyal bilgisayara alınmakta, bilgisayardan sisteme de iki sinyal gönderilmektedir. Bilgisayara alınan sinyaller LVDT,

Basınç Algılayıcı, Jiroskop ve Potansiyometre sinyalleridir. Bilgisayardan ise sisteme hız isteği sinyalleri gönderilmektedir. Hız isteği bilgisayardan verilebildiği gibi kumanda kolundan da verilebilmektedir.

## SONUÇ

Üretimi yapılan simülâtörde, MATLAB®/RTWT programı kullanılarak tank testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde, sahra testleri sırasında elde edilen APG verileri kullanılmıştır. Bu test sırasında simülâtöre yerleştirilmiş algılayıcılardan kayıtlar alınmıştır. İncelenen kayıtlardan, simülâtöre girilen referans APG verilerinin üretilen sistem tarafından gerçekleştirildiği görülmüştür (Şekil 8.1). Böylece simülâtör, APG testini laboratuvar ortamında gerçekleştirmiş ve sistem ihtiyaçlarını karşılamıştır.



Şekil 8.1 Simülâtör performansı

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde katkıda bulunan Proje Yöneticisi Sn. Faruk MENGÜÇ'e, Proje Teknik Yöneticisi Sn. Bülent Mete'ye ve ASELSAN A.Ş. Proje Ekibi'ne teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- [1] "International Test Operations Procedure, Stabilization Accuracy", ITOP 3-2-836(2.2.1),1995.
- [2] Ercan, Y., Akışkan Gücü Kontrolü Teorisi, Gazi Üniversitesi, 1995.
- [3] "The Hydraulic Trainer, Volume 2" Mannesmann Rexroth AG, 1989.
- [4] "MATLAB® User's Guide", Version 2, The Mathworks Inc., 1993

## ÖZGEÇMİŞLER

### H. Ersel ÖNER

1972 yılında Kütahya'da doğdu. 1989 yılında Kabataş Erkek Lisesinden mezun oldu. 1994 yılında ise İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesini aldı. 1998 yılında ise İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Robotik yüksek lisansını tamamlayarak yüksek mühendis ünvanını aldı. 1997-1998 yılları arasında Altınay Robotik ve Otomasyon A.Ş.'de Ark Kaynağı Robotu Uygulama Mühendisi olarak görev yaptı. 2000 yılından bugüne ASELSAN A.Ş. Mekanik Tasarım Müdürlüğü'nde Uzman Mühendis olarak görev yapmaktadır.

### M. Burak GÜRCAN

1971 yılında Isparta'da doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında "Lisans", 1997 yılında da "Yüksek Lisans" derecelerini aldı. Nisan 1999 tarihinde ASELSAN A.Ş. MST Grubu Mekanik Tasarım Müdürlüğü'nde çalışmaya başladı ve Kaideye Monteli Stinger ve Silah Sistemleri İçin Atış Kontrol Sistemi Geliştirme Projeleri'nde görev aldı. Tank İçin Atış Kontrol Sistemi Geliştirme Projesi'nde Araç İş Paketi PKD Yöneticisi'dir. Halen MST Grubu Mekanik Tasarım Müdürlüğü, Silah Sistemleri ve Elektro Optik Platform Entegrasyonu Uzmanlık Birimi'nde Baş Mühendis olarak görev yapmaktadır.

### İlhan BAŞÇUHADAR

1964 yılında Ankara'da doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1986 yılında "Lisans", 1989 yılında da "Yüksek Lisans" derecelerini aldı. 1985 yılında ASELSAN A.Ş. Mekanik Tasarım Müdürlüğü'nde Geçici Teknik Eleman olarak göreve başladı ve robot kollar, adım motor kontrolü ve uygulamaları konularında çalışmalar yaptı. 1986-1993 yılları arasında 9600 VHF/FM Frekans Atlamalı Telsiz Ailesi Projesi'nde Mekanik Tasarım Mühendisi olarak çalıştı. 1993 yılından itibaren Kaideye Monteli Stinger Projesi'nde Taret Mekaniği ve Servo Sistemi PKD Yöneticiliği görevini sürdürmektedir. 1999 yılından itibaren de Tank İçin Atış Kontrol Sistemi Geliştirme Projesi'nde Servo Sistemi PKD Yöneticisi'dir. Halen MST Grubu Mekanik Tasarım Müdürlüğü, Silah Sistemleri ve Elektro Optik Platform Entegrasyonu Uzmanlık Birimi'nde Teknik Lider olarak görev yapmaktadır.

### Tuna BALKAN

1957 yılında Manisa'da doğdu. Halen çalışmakta olduğu Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1979 yılında "Lisans", 1983 yılında "Yüksek Lisans", 1988 yılında da "Doktora" derecelerini aldı. 1985 yılında "Öğretim Görevlisi", 1988 yılında "Yardımcı Doçent", 1990 yılında "Doçent" ve 2000 yılında da "Profesör" oldu. 1998 yılından beri ODTÜ Bilgisayar Destekli Tasarım İmalat ve Robotik Merkezi (BİLTİR) Başkan Yardımcılığı ve ASELSAN A.Ş. Mekanik Tasarım Müdürlüğü'nde danışman olarak görev yapmaktadır. Çalışmaları sistem dinamiği, otomatik kontrol, sistem modellemesi, simülasyonu ve tanınması, akışkan gücü kontrolü, robotik ve uygulamaları alanlarında yoğunlaşmıştır.