

3 SERBESTLİK DERECESESİNE SAHİP BİR HAREKET TAKLİTÇİSİNİN MAFSAL UZAYI ENİYİLEMESİ VE ÇÖZÜM ANALİZİ

Rasim Aşkın DİLAN
Ulaş YAMAN
Hakan ÇALIŞKAN
Suat DEMİRER
Tuna BALKAN

ÖZET

Bu çalışmada, 3 serbestlik derecesine sahip hidrolik tahrikli bir hareket taklitçisinin kinematik çözümü yapılmıştır. Hareket taklitçisi, bir platforma bağlı üç silindirden oluşmaktadır. Kinematik çözümü yapılan bu sistemin eklem uzayındaki çeşitli konfigürasyonlarında sistematik olarak incelemesi yapılmış, silindirlere binen kuvvetler ve gerekli olan güçler hesaplanmıştır. Bunun sonucunda mafsal uzayında gerekli ivme ve hızlar dahilinde gerekli güçler de göz önünde bulundurularak sistemin koşulması gereken mafsal aralıklarının eniyilmesi yapılmıştır. Bunun ardından belirli bir motor seçildiği vakit, elde bulunan toplam güç dahilinde hareket taklitçisinin 3 serbestlik derecesinde de gidebileceği maksimum aralıklar belirlenip sistemin sınırları ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hareket taklitçisi, Kinematik Çözümleme, Hidrolik Sistem Eniyilmesi

ABSTRACT

In this study, kinematic analysis of a 3 degree-of-freedom hydraulic motion simulator is carried out. Motion simulator consists of three hydraulic cylinders connecting an upper platform to a lower platform. The system is examined in several configurations in the joint space; the forces on the cylinders and the necessary power to run these cylinders are calculated for each configuration systematically. As a result of these calculations, in the scope of desired accelerations and velocities, the necessary joint space parameters are optimized. Following that, the joint angle limits of the motion simulator is decided according to a motor selected. In other words, the ranges in which the motion simulator is determined according to defined available power.

Key Words: Stewart Platform, Kinematic Analysis, Hydraulic System Optimization

1. GİRİŞ

Hareket taklitçileri uzun süredir "Stewart platform" adı ile literatürde bulunan ve üzerinde oldukça sık çalışılan bir konu olarak göze çarpmıştır. Özellikle akademik alanda olduğu kadar sanayide de birçok alanda etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Eğlence sektöründe, savunma ve otomotiv sanayi gibi birçok sektörde etkin olarak kullanılmaya başlanan hareket taklitçileri özellikle otomotiv sanayi ile savunma sanayilerinin araştırma ve geliştirme bölümlerinde geliştirilen yeni prototiplerin testlerinin

yapılması sırasında kullanılmaktadır. Bu nedenle her ne kadar hareket taklitçilerinin kinematik ve dinamik çözümlenmeleri konusu tamamen sonuçlandırılmış gibi gözükse de bu gibi sistemlerin çok çeşitli sanayilere adaptasyonu, verimlilik çalışmaları ve performanslarının iyileştirilmesi; optimizasyonu konularında hala gereksinimler olduğu gözlenmektedir.

Literatürdeki örneklere [1-5] göz gezdirildiği zaman genellikle 3 ve 6 serbestlik derecesine sahip taklitçiler bulunduğu gözlenmektedir. 6 serbestlik derecesine sahip bir hareket taklitçisi Şekil 1'de görülebilir. Bu sistemler yakın tarihimize kadar genellikle hidrolik olarak tahrik edilmekte olup yeni çalışmalarda bu sistemlerin elektrik tahrikli olduğu, yüksek yükler kaldırması gereken durumlarda ise elektro-pnömatik olarak tahrik edilmeye başlandığı gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada 3 serbestlik derecesine sahip platformlar üzerinde çalışılmıştır. 3 serbestlik derecesine sahip hareket taklitçileri içinde çeşitli konfigürasyonlara sahip platformlar bulunmaktadır. 3 uç noktadan silindirlerle üst platformun alt platforma bağlandığı türler olmakla birlikte bunlara ek olarak üst platformun orta kısmının sabit bir destekçi ile alt platforma bağlı olduğu türler de görülmektedir. Bu çalışmada bu konfigürasyonların avantaj ve dezavantajlarının detaylarına girilmeyecektir. Çalışma boyunca belirtilen konfigürasyonlardan ilk türün kinematik çözümlenmesi yapılacak daha sonra bu çözümlenme üzerine kurulan MATLAB modeli üzerinden eklem uzayı optimizasyonu yapılacaktır.



Şekil 1. 6 Serbestlik Derecesine Sahip Bir Hareket Taklitçisi [6].

Literatür incelendiği zaman hareket taklitçisi platformların elektrik tahrikli modellerinin olduğu gibi, sadece hidrolik tahrikli modellerin yaygın bir şekilde kullanıldığı gözlenmiştir. Bunların yanı sıra elektrik motoru ile tahrik edilip statik ağırlığı pnömatik bir sistemle tartan konfigürasyonlara az da olsa literatürde rastlanmaktadır. Bu konfigürasyonlarının hepsinin belirli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu konfigürasyonların avantajlarını ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de gözlemlenebilir.

Tablo 1. Farklı Eyleyicilerle Çalışan Değişik Hareket Taklitçilerinin Karşılaştırılması

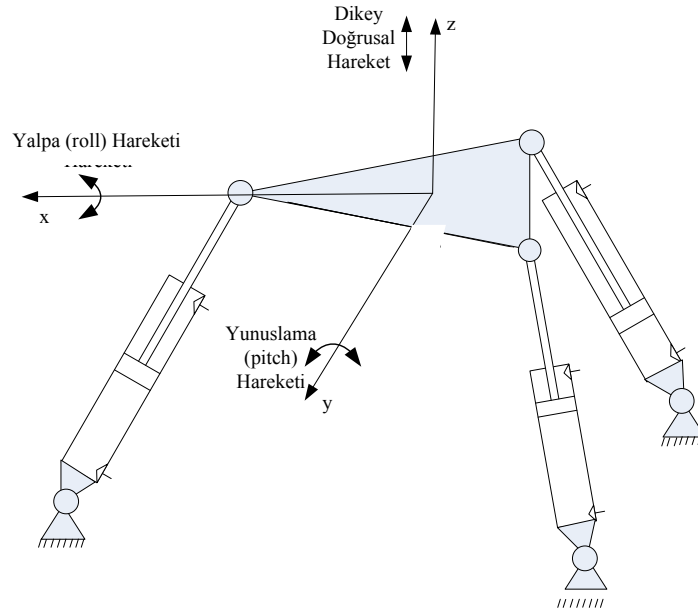
	Hidrolik Eyleyicili	Elektrik Eyleyicili	Elektro-Pnömatik Eyleyicili
Yük Kapasitesi	Yüksek	Düşük	Düşük
Tepki süresi	Orta-Hızlı	Hızlı	Hızlı
Enerji Verimliliği	Var	Yok	Yok

Bu çalışmada öncelikle 3 serbestlik derecesine sahip bir hareket taklitçisinin kinematik çözümlenmesi basitçe anlatılacaktır. Daha sonra bu çözümlenme üzerine kurulan MATLAB modeli tanıtılacak ve bu model üzerinden sistemin optimum konfigürasyonu bulunmaya çalışılacaktır. En son olarak da, sistemin belirlenen optimum konfigürasyonda ve belli sabit bir güç kaynağı varlığında belirtilen serbestliklerde hangi sınır aralıklarına ulaşabildiği bulunmuştur.

2. SİSTEMİN KİNEMATİK ÇÖZÜMLEMESİ VE MODELLENMESİ

2.1. Sistemin Tanıtılması

Üzerinde çalışılacak olan hareket taklitçisi 3 serbestlik derecesine sahip olacak hidrolik tahrikli bir hareket taklitçisidir. Şekil 2'de de görüldüğü gibi serbestlik dereceleri şöyle tanımlanabilir; taklitçinin dikey (z) yönde hareketini sağlayacak olan yükselme hareketi, x ekseninde dönmesini sağlayacak olan yalpa hareketi ve son olarak da y ekseninde dönmesine olanak sağlayan yunuslama hareketidir. Bu hareketler ile birçok eğlence taklitçisi ve test düzeneğindeki hareketlerin benzetilmesi amaçlanmaktadır. Literatürdeki ticari taklitçiler incelendiğinde sistemin hedeflenen maksimum hareket aralıkları ve bu hareket yönlerindeki maksimum ivme değerleri belirlenmiş ve Tablo 2'de belirtilmiştir.



Şekil 2. 3 Serbestlik Derecesine Sahip Bir Hareket Taklitçisi

Tablo 2. Hedeflenen Hareket Taklitçisinin Teknik Özellikleri

	Hareket Aralığı	Maksimum İvme (g)
Dikey Hareket	± 30 mm	Düşük
Yunuslama Hareketi	$\pm 25^\circ$	Hızlı
Yalpa Hareketi	$\pm 25^\circ$	Yok

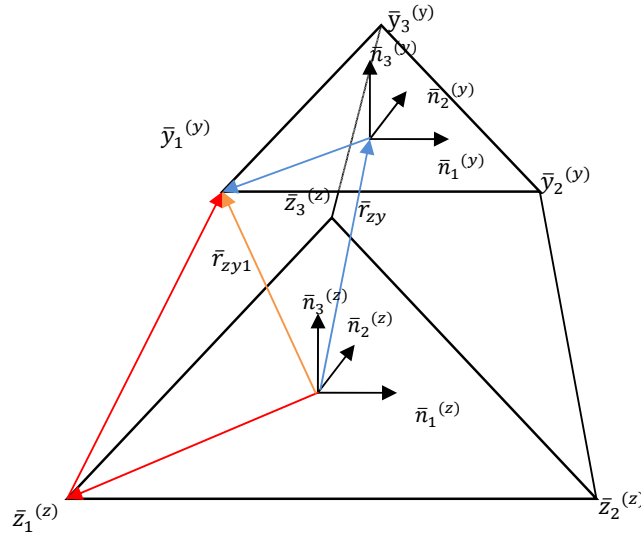
Sistem Şekil 2'de de görüldüğü gibi bir üst platformun üç ayrı hidrolik silindir simetrik olarak bir alt platforma (yere) bağlanmasından oluşmaktadır. Platformun ilk başta 4 kişi taşınması beklendiğinden sistemin yaklaşık ağırlığının 1 tonu geçtiği gözlenmektedir. Bu ağırlık altında yukarıdaki ivmeler ve hareket aralıklarına ulaşılacak istenilmektedir.

2.2. Kinematik Çözümleme ve Sistemin MATLAB Paket Programında Modellenmesi

Model bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi basit olarak bir üst platform ve bu platformu mutlak yere (alt platforma) bağlayan üç adet silindirden oluşmaktadır. Silindirler hem mutlak yere hem de platforma kardan mafsallarla bağlanmışlardır. Sözü edilen sistemin Simulink ve SimMechanics modellerinin oluşturulabilmesi için öncelikle ters kinematik analizinin yapılması gerekmektedir. Bu alt bölümde

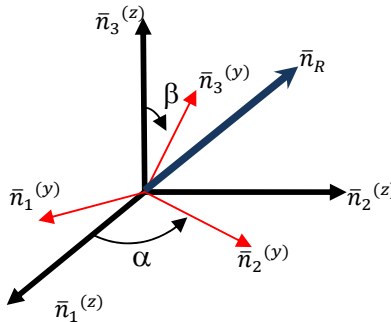
mevcut 3 serbestlik dereceli sistemin ters kinematik analizinin nasıl yapıldığı ve elde edilen sonuçlar ile ortaya çıkarılan Simulink ve SimMechanics modelleri anlatılacaktır.

Taklitçiye ait koordinat sistemi Şekil 3'te gösterilmiştir. Alt platformunda bulunan prizmatik mafsalların konumları alt platform koordinat sistemine göre $\bar{z}_1^{(z)}$ vektörü ile, üst platforma bağlı mafsalların konumu ise üst platforma göre $\bar{y}_1^{(y)}$ vektörü ile gösterilmiştir. Sistem üç serbestlik derecesine sahip olup sahip oldukları serbestlik dereceleri önceden de belirttiği gibi x ekseninde dönme, y ekseninde dönme ve z ekseninde doğrultusunda doğrusal hareket eder. Bölümün ilerleyen kısımlarında karşımıza çıkacak olan α azimut açısı, β ise alçalma açısı olarak kabul edilecektir.



Şekil 3. Üç Serbestlik Dereceli Manipülâtörün Koordinat Sistemi

Ters kinematik analiz yapılabilmesi için alt ve üst platformlar arasında bir transformasyon matrisinin bulunması gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle üst platformun pozunu azimut (α) ve alçalma (β) açıları ile tarif edilecektir. Şekil 4'te görüldüğü gibi tanımlanabilir. Burada $\bar{r}_{zyi}^{(z)}$ üst platform üzerindeki i'inci 2R mafsalin konum vektörünün alt platform koordinat ekseninde çözülmüş hali, $\bar{r}_{zy}^{(z)}$ ise üst platform merkezinin alt platform merkezine göre konumunun alt platform referans koordinatında çözülmüş halidir.



Şekil 4. Üst platformun Poz Tanımı

Alt platformun n_3 vektörü bir n_R vektörü etrafında β açısı kadar döndürüldüğünde üst platformun eksenlerinin belirlendiği kabul edilmiştir. Buna göre n_R vektörü n_3^z ve n_3^y 'nin vektörel çarpımından

bulunabilir. Bu işlemler denklem (1)-(9)'da gösterilmiştir. Bu işlemlerde kosinüs işlemi "c" simgesi ile sinüs işlemi ise "s" simgesi ile ifade edilecektir.

$$\bar{n}_3^y = \begin{bmatrix} s\beta c\alpha \\ s\beta s\alpha \\ c\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\bar{n}_3^z = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\bar{n}_R = \bar{n}_3^{0/0} \bar{n}_3^y \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s\beta c\alpha \\ s\beta s\alpha \\ c\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s\beta s\alpha \\ s\beta c\alpha \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Daha sonra Rodrigues formülü kullanılarak alt platform ile üst platform arasındaki transformasyon matrisi bulunabilir.

$$\hat{C}^{(z,y)} = \hat{I} + \bar{n}_R^{0/0} s\beta + (\bar{n}_R^{0/0})^2 (1 - c\beta) \quad (4)$$

$$\hat{C}^{(z,y)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & s\beta c\alpha \\ 0 & 0 & s\beta s\alpha \\ -s\beta c\alpha & -s\beta s\alpha & 0 \end{bmatrix} s\beta + \begin{bmatrix} -c^2 \alpha s^2 \beta & -c \alpha s \alpha s^2 \beta & 0 \\ -c \alpha s \alpha s^2 \beta & -s^2 \alpha s^2 \beta & 0 \\ 0 & 0 & -s^2 \beta \end{bmatrix} (1 - c\beta) \quad (5)$$

$$\hat{C}^{(z,y)} = \begin{bmatrix} 1 - c^2 \alpha s^2 \beta (1 - c\beta) & -c \alpha s \alpha s^2 \beta (1 - c\beta) & s^2 \beta c\alpha \\ -c \alpha s \alpha s^2 \beta (1 - c\beta) & 1 - s^2 \alpha s^2 \beta (1 - c\beta) & s^2 \beta s\alpha \\ -s^2 \beta c\alpha & -s^2 \beta s\alpha & 1 - s^2 \beta (1 - c\beta) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bu kabuller doğrultusunda aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\bar{r}_{zyi}^{(z)} = \bar{r}_{zy}^{(z)} + \hat{C}^{(z,y)} \bar{y}_i^{(y)} = \bar{z}_i^{(z)} + \bar{l}_i^{(z)} \quad (7)$$

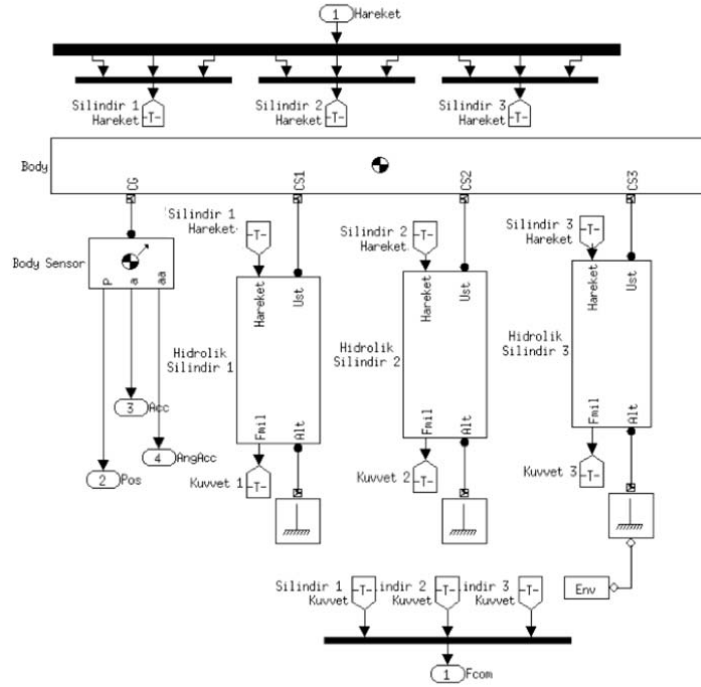
$$\bar{l}_i^{(z)} = \bar{r}_{zy}^{(z)} + \hat{C}^{(z,y)} \bar{y}_i^{(y)} - \bar{z}_i^{(z)} \quad (8)$$

Burada $\bar{l}_i^{(z)}$ alt platformdaki mafsalı üst platforma bağlayan vektör diğer bir deyişle hidrolik silindiri tanımlamaktadır. Daha önceden de kullanıldığı üzere $\bar{n}_i^{(z)}$ tripod bacalarının uzunluklarını belirten birim vektörleri belirtmektedir. Eğer P_i 'nin tripod uzunluklarını belirttiği düşünülürse bu uzunluk aşağıdaki gibi bulunabilir.

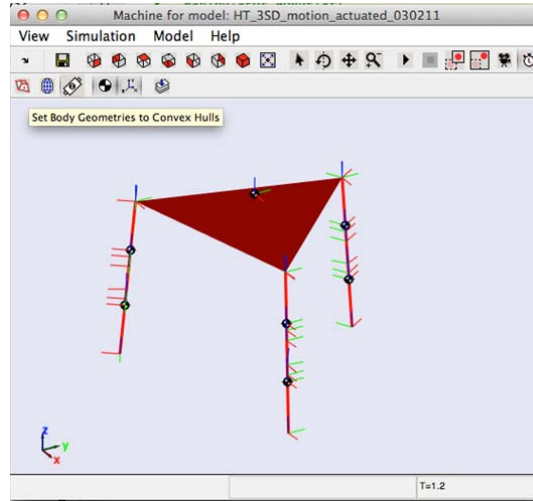
$$P_i = \sqrt{\bar{l}_i^{(z)T} \bar{l}_i^{(z)}} \quad (9)$$

Son olarak eğer tripod uzunluğundan silindirin ilk boyu çıkartılırsa, hidrolik silindirlerin uzaması bulunur ki bu bilgi bize MATLAB paket programında oluşturduğumuz sistemimizi tahrik edebilmemiz için yeterlidir.

Transformasyon matrisi ve uzama miktarları bulunduktan sonra ilgili kodlar da kullanılarak sistem Simulink ve SimMechanics platformlarında Şekil 5 ve Şekil 6'da görüldüğü üzere kurulmuştur. Platformun atalet hesapları yapılmış ve sistem bu doğrultuda çalıştırılmıştır. Bu benzetim ortamı oluşturulduktan sonra işe çeşitli optimizasyon çalışmaları yapılarak sistemin silindir boyutlandırılması aşamasına gelinmiştir. Boyutlandırma ve optimizasyon konusunda yapılan çalışmalar bir sonraki bölümde anlatılacaktır.



Şekil 5. Sistemin SimMechanics Şeması



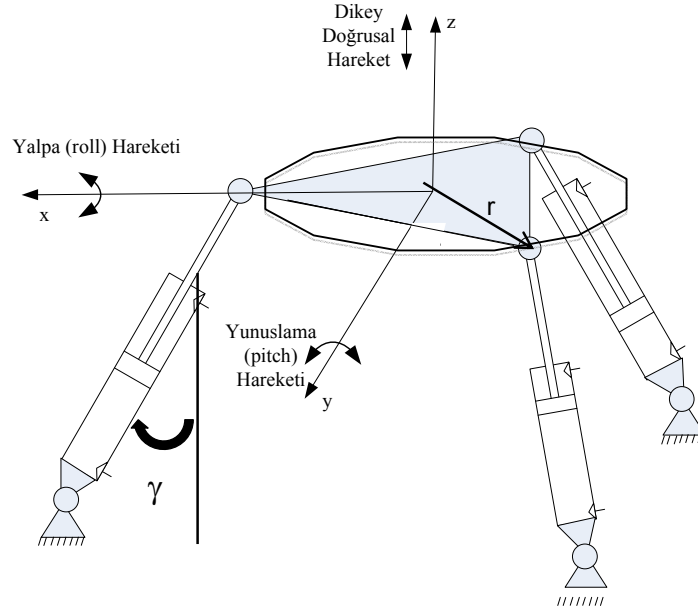
Şekil 6. Sistemin SimMechanics Benzetim Görüntüsü

3. SİSTEMİN EKLEM UZAYI OPTİMİZASYONU

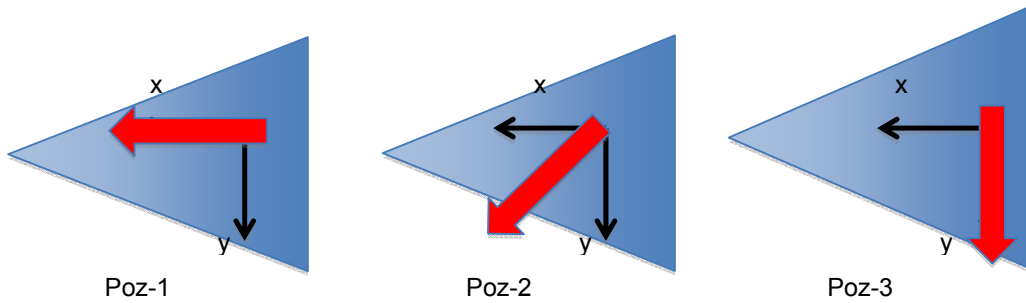
3.1. Sistem Optimizasyonu

Bir önceki bölümde kinematik çözümü yapılan sistemin hangi konfigürasyonda en az kuvvet ve güç gereksinimleri göstereceği sistemin gerçekleştirilmesi ve kaynakların ekonomik kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle çeşitli konfigürasyon tasarımları belirlenmeli ve bu tasarımlardan hangisinin en avantajlı olduğuna sistem üzerinde önceden çeşitli değişken parametreler üzerinde

oyunarak karar verilmelidir. Sistem üzerinde optimizasyon amacıyla değiştirilebilecek olan parametreler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bu parametreler, alt ve üst platformları birbirlerine bağlayan silindirlerin dikey düzlemle yaptığı açı γ , silindirlerin üst platforma bağlantı yarıçapları r ile platform üzerindeki koltuk düzeninin pozudur. Koltuk pozu koltukların ön doğrultusunun x eksenine ile x-y düzlemi ile yaptığı açı ile belirlenir ve bu optimizasyon çalışmasında bu açının 0° , 45° ve 90° olduğu durumlar incelenmiş ve bunlara sırasıyla Poz-1, Poz-2 ve Poz-3 adı verilmiştir. Belirlenen koltuk pozu ve γ açısı için üç ayrı serbestlik derecesinin maksimum deplasmanları belirlenen fazlar ile sisteme uygulandığında ortaya çıkan kuvvet, hız, güç ve ivme değerleri kayıt altına alınmış ve sonuç olarak minimum güç gereksinimi bulunan konfigürasyon bulunmaya çalışılmıştır.



Şekil 5-1. Sistem Konfigürasyon Parametreleri (r ve γ)



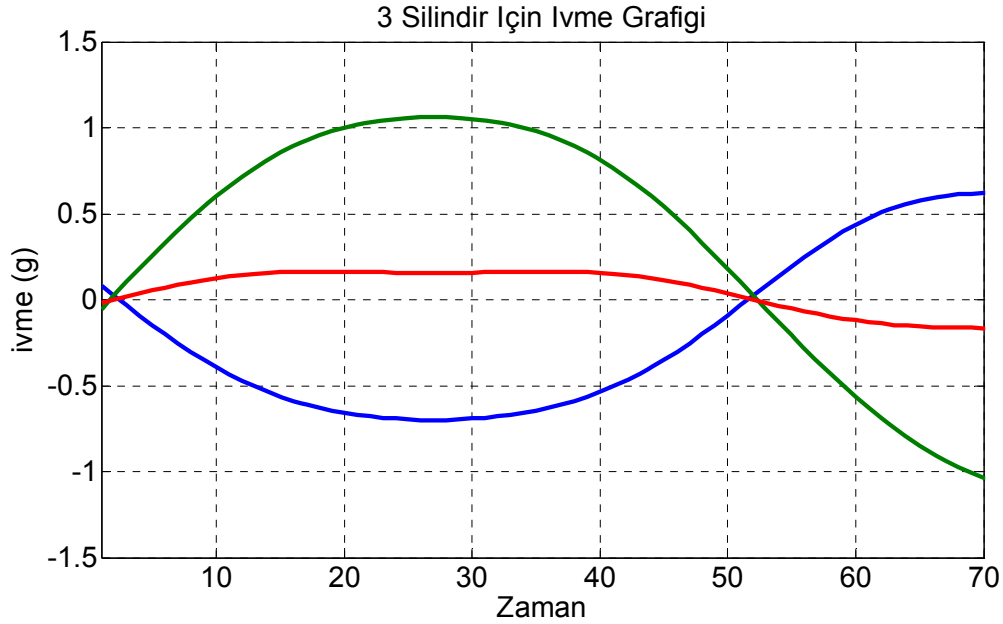
Şekil 5-2. Sistem Konfigürasyon Parametreleri (Koltuk Pozu)

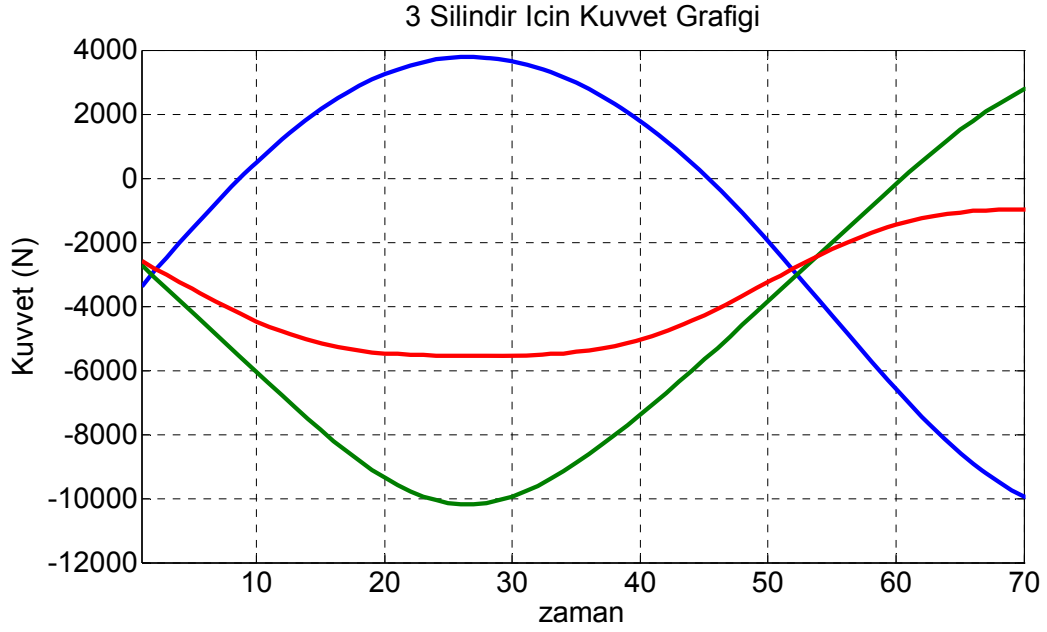
Önceki bölümlerde belirtildiği üzere sistemin üç serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bunlar maksimum deplasmanı ± 30 mm olan yükselme ile maksimum deplasman aralığı $\pm 25^\circ$ olan yunuslama ve yalpa serbestlikleridir. Kuvvet, Hız, İvme ve güç ölçümleri yapılırken sisteme 2 Hz frekansında bir sinüs girdisi verilecektir. 3 ayrı serbestliğin aralarında 0, 30, 60 ve 90 derecelik fazlar konularak Tablo 3'te belirtilmiş olan 64 ayrı faz konfigürasyonu sisteme silindir bağlantı yarıçapı 0,9 m kabul edilerek her koltuk pozu ve γ açısı için uygulanacaktır.

Tablo 3. 64 Ayrı Hareket Taklitçisi Konfigürasyonu (3 Serbestlik Derecesi Arasındaki Değişik Faz Farkları (Derece))

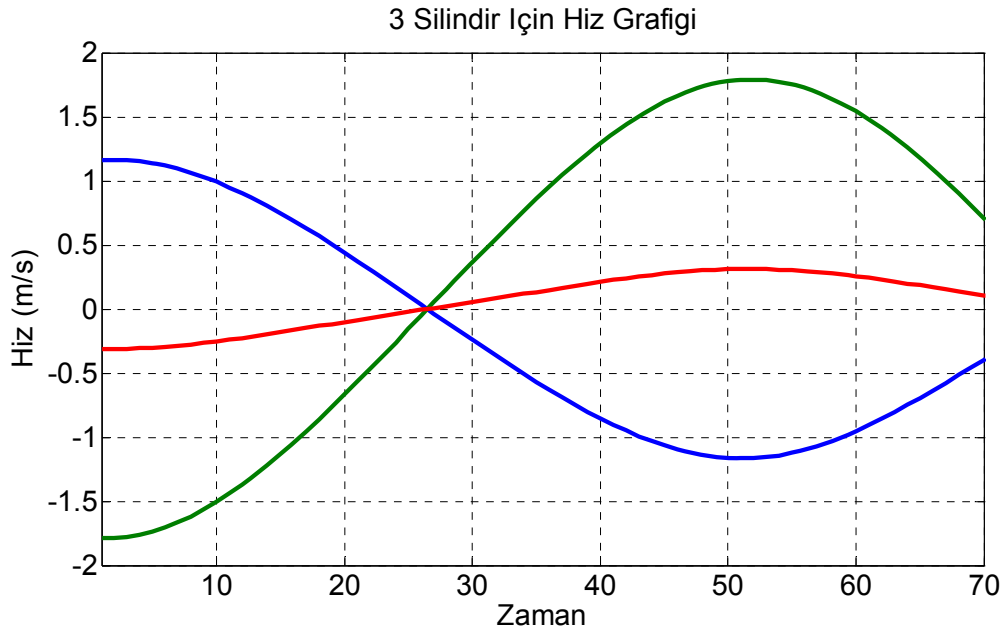
0-0-0	0-60-0	30-0-0	30-60-0	60-0-0	60-60-0	90-0-0	90-60-0
0-0-30	0-60-30	30-0-30	30-60-30	60-0-30	60-60-30	90-0-30	90-60-30
0-0-60	0-60-60	30-0-60	30-60-60	60-0-60	60-60-60	90-0-60	90-60-60
0-0-90	0-60-90	30-0-90	30-60-90	60-0-90	60-60-90	90-0-90	90-60-90
0-30-0	0-90-0	30-30-0	30-90-0	60-30-0	60-90-0	90-30-0	90-90-0
0-30-30	0-30-30	30-30-30	30-30-30	60-30-30	60-30-30	90-30-30	90-30-30
0-30-60	0-90-60	30-30-60	30-90-60	60-30-60	60-90-60	90-30-60	90-90-60
0-30-90	0-90-90	30-30-90	30-90-90	60-30-90	60-90-90	90-30-90	90-90-90

MATLAB paket programında geliştirilen bir kod ile önceden oluşturulmuş olan benzetim modeli entegre edilmiş ve sistemin yukarıda belirtilen konfigürasyon için güç değerleri kaydedilmiştir. Örnek bir kuvvet, hız, güç ve ivme ölçümü ile ilgili grafikler Şekil 6 - Şekil 9'te gösterilmiştir. Bu grafiklerde gösterilen değerler $r=0,9$ m, $\gamma=5^\circ$ ve Poz-1 için verilmiştir. Bu şekilde, geliştirilen bir kod ile aşağıdaki grafikler için gerekli olan veri $-10^\circ < \gamma < 15^\circ$ aralığı için ve üç koltuk pozu için de çıkarılmış ve bu veri içerisinde her silindir üzerine her açı ve pozda binen maksimum kuvvet ve güçler çıkarılarak kaydedilmiştir.

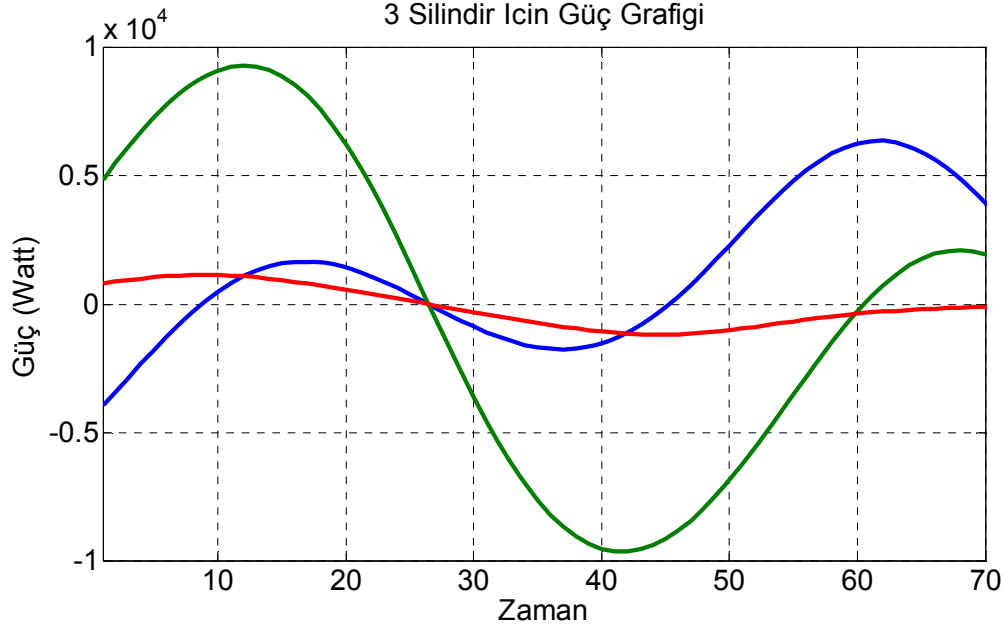

Şekil 6. Belirli Bir Faz Konfigürasyonu İçin Örnek İvme Grafiği



Şekil 7. Belirli Bir Faz Konfigürasyonu İçin Örnek Kuvvet Grafiği

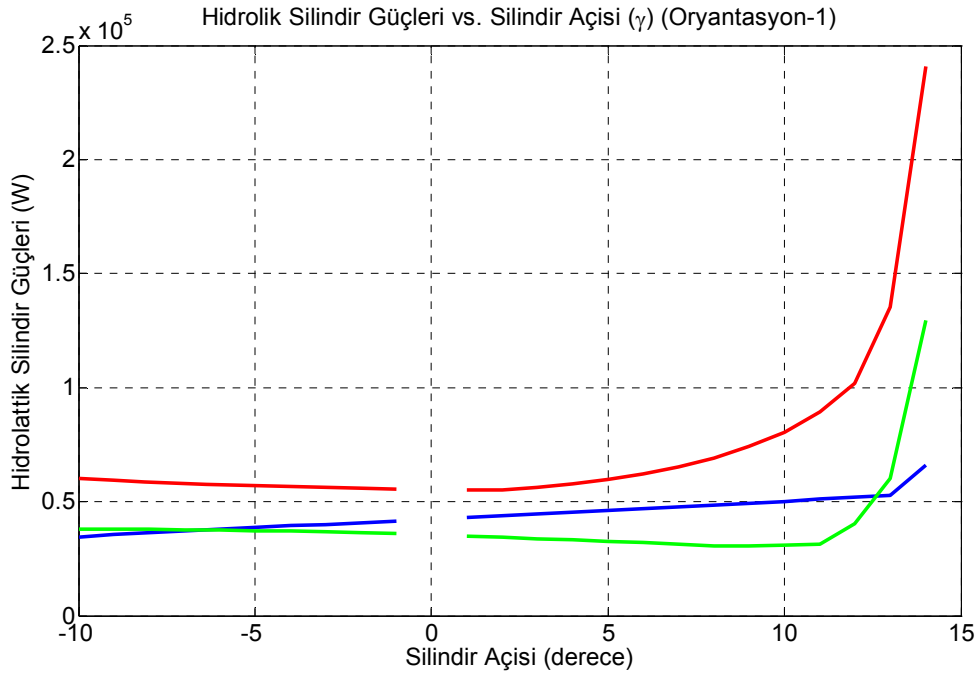


Şekil 8. Belirli Bir Faz Konfigürasyonu İçin Örnek Hız Grafiği

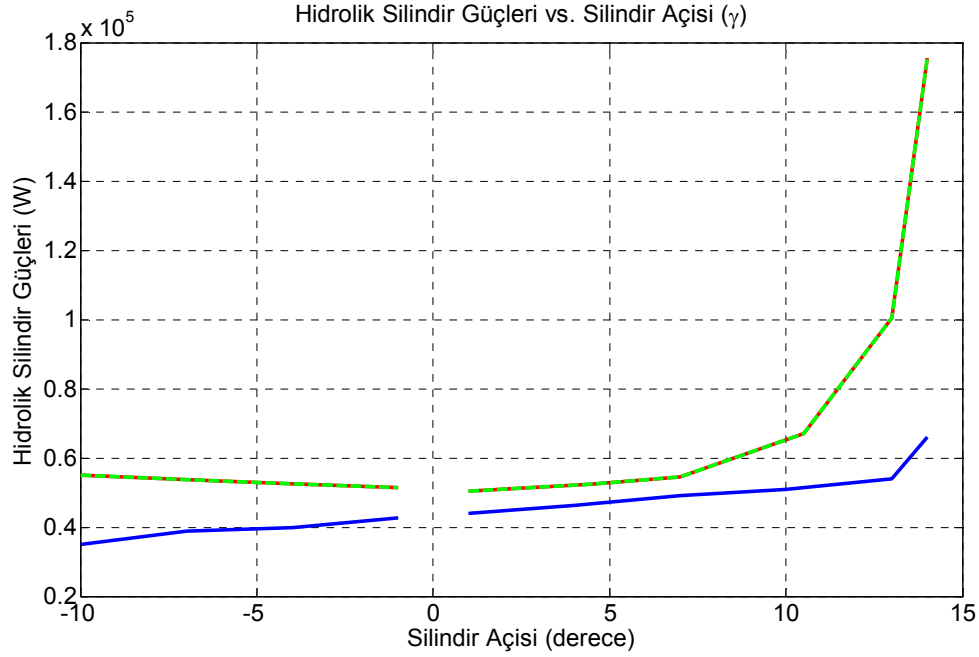


Şekil 9. Belirli Bir Faz Konfigürasyonu İçin Gerekli Güç Grafiği

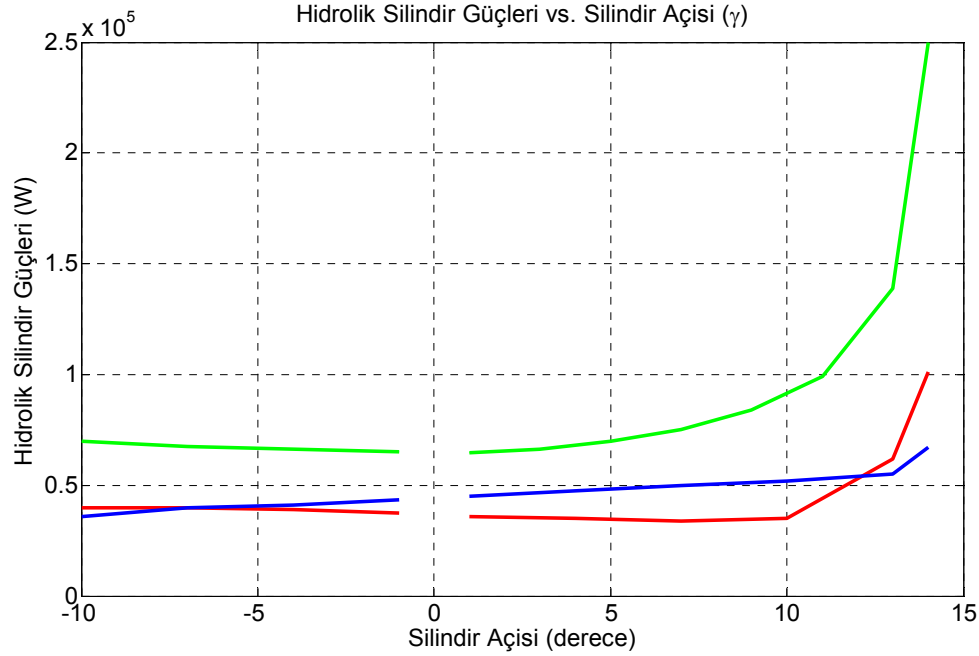
Bu veri topluluğu içinden ayıklanan maksimum güç verileri her bir poz için değişen γ açısına karşılık gelen maksimum güç grafiği olarak çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Poz-1 için Değişik γ Açılarındaki Maksimum Güç Grafiği



Şekil 11. Poz-2 için Değişik γ Açılarındaki Gerekli Maksimum Güç Grafiği

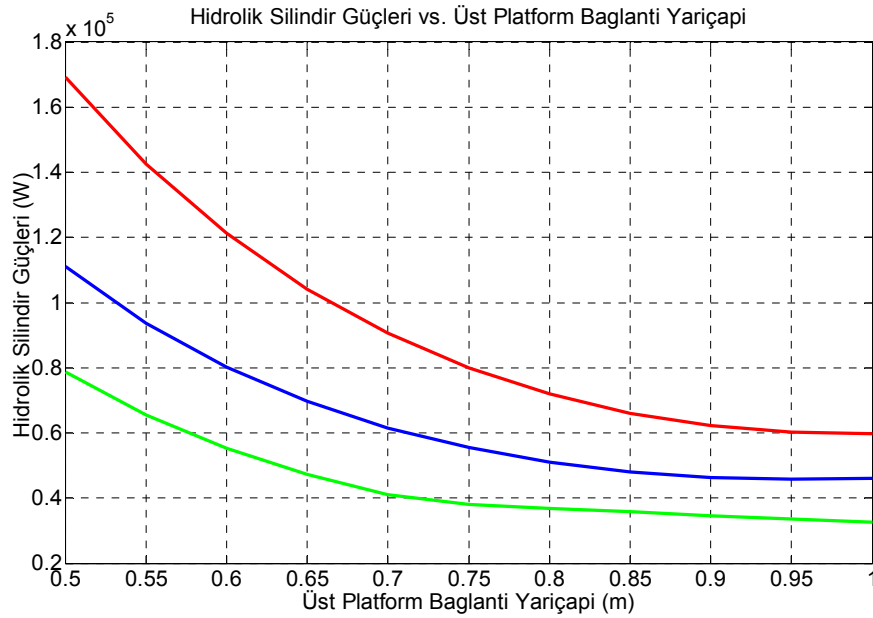


Şekil 12. Poz-3 için Değişik γ Açılarındaki Gerekli Maksimum Güç Grafiği

Bu grafikler incelendiği zaman optimizasyondaki iki değişkenimizden koltuk Poz-1 konfigürasyonunda diğer pozlara göre daha az güce gereksinim duyulduğu görülürken, genel olarak γ açısının değişimi değerlendirildiğinde de 0 dereceye yakın değerlerde sistemin en az güce gereksinim duyduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra γ açısının 0 derece olması durumunda sistemin kinematik olarak kitlenmesi göz önüne alınırsa, γ açısının 0 dereceye yakın minimum güç değerine sahip değerlerinin

göz önüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu durumda tüm silindirlerin güç gereksinimleri incelendiğinde 5 derecelik γ açısının optimum güç gereksinimleri sağladığı görülmüştür. İki ayrı optimizasyon değişkenimizin optimum değerlerine karar verilmiştir. Bu durumda sistemin minimum güç gereksinimi ile çalışması için koltuk pozunun, Poz-1 şeklinde yani koltukların ön doğrultusunun x eksenine doğrultusunda olacak şekilde olması gerektiğine karar verilmiştir. Bunun yanı sıra silindirlerin hareket taklitçisi tahrik edilmeden önce sıfır noktasında iken z eksenine ile yaptıkları açının, γ açısının, 5 derece civarı olmasının yine güç gereksinimlerini minimize ettiğine karar verilmiştir.

Bu iki parametrenin optimizasyonu yapılırken üçüncü bir parametre olan silindir bağlantı noktası yarıçapı sabit tutulmuştu. Bu noktadan sonra bu yarıçapın sistemi nasıl etkilediği incelenecektir. Bu nedenle daha önce bulunan iki parametre optimum değerlerinde sabit tutularak silindirlerin üst platforma bağlanma yarıçapı değiştirilerek ve her türlü faz ve durum için güç değerleri kaydedilmiştir. Bunun sonucunda değişik yarıçap değerlerinde elde edilen maksimum güç değerleri derlenerek Şekil 13'teki grafik elde edilmiştir. Bu grafikte 0,5 metre ile 1 metre arasında değişen silindir bağlantı yarıçapının 3 silindirin gereksinim duyduğu güçleri nasıl etkilediğini görebiliriz.



Şekil 13. Optimum Konfigürasyon İçin Değişik Bağlantı Yarıçaplarındaki (r) Güç Grafiği

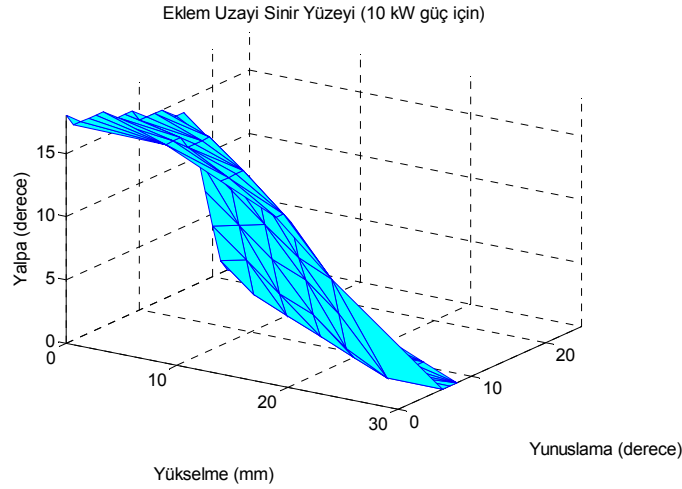
Grafik incelendiği zaman artan yarıçap ile güç gereksiniminin azaldığı ama 0,85 metreden sonra da çok fazla yarıçapın güç gereksinimini etkilemediği gözlemlenmiştir. Bu durumda fiziksel olarak montaj kolaylığı da göz önünde tutularak silindir bağlantı yarıçapının 0,9 metre olmasına karar verilmiştir.

Bu durumda sistemin güç tüketimini etkileyen 3 ayrı parametremizin optimum değerlerine karar verilmiştir. Bir sonraki bölümde ise bu optimum konfigürasyonda belli sabit bir güç kaynağı varlığında sistemin ulaşabileceği maksimum eksen uzayı menzillerine karar verilmiştir. Bir başka deyişle sistemin 3 ayrı serbestliğinde ulaşabileceği maksimum deplasmanlara karar verilmiştir.

3.2. Eklem Uzaı Menzil Optimizasyonu

Sistemimizin poz-1 konfigürasyonunda silindir dikey açısı 5 derece iken ve silindir bağlantı noktası 0,9 metre iken optimum güç gereksinimleriyle çalıştığına karar verdikten sonra 10kW'lık bir motor varlığında 2Hz'lik bir salınım girdisi ile 3 ayrı serbestlik yönünde en yüksek hangi deplasmanlara çıkabileceğine karar vermek gerekmektedir. Bu sistemin kapasitesinin bir göstergesi olacaktır. Bu nedenle, MATLAB yazılımında hazırlanan bir kod ile sistem çalıştırılarak 10kW'lık maksimum güç

gereksinimini gördüğü noktalar kaydedilmiş ve bu veriler derlenerek sistemin hangi aralıklarda çalışabileceğini gösteren bir eklem uzayı sınır yüzeyi ortaya çıkarılmıştır. Bu yüzeyin 3 boyutlu grafiği Şekil 14'te görülebilir.



Şekil 14. Eklem Uzayı Sınır Yüzeyi (10 kW sabit güç için)

Grafik incelendiği zaman, şu sonuçlar göze çarpmaktadır. Sistem sadece yunuslama hareketini yaptığı zaman yaklaşık $\pm 23^\circ$ 'lik bir salınım yapabilmektedir. Öte yandan sadece yalpa hareketi yaptığı zaman $\pm 18^\circ$ 'lik bir salınım yapabilmektedir. Bunun yanında sadece yükselme hareketi yaptığı anda ise ± 22 mm'lik bir salınım yapabilmektedir. Ama bu hareketler birlikte yapılmaya başladığında bu değerler biraz daha düşmektedir. Örneğin yükselme hareketi yapılmaksızın yalpa ve yunuslama hareketlerinin ikisinin de birlikte maksimum yapabildiği salınım $\pm 12^\circ$ 'lerde kalmaktadır. Yalpa hareketi olmaksızın yükselme ve yunuslama hareketleri yapıldığında maksimum salınımın birlikte yapıldığı durumda yükselme hareketi ± 15 mm'lik salınım yaparken, $\pm 12-13^\circ$ 'lik bir salınım yapabilmektedir. Son olarak yunuslama hareketi yapılmadığı vakit maksimum salınımın birlikte yapıldığı durumda yükselme hareketi $\pm 17-18$ mm'lik bir salınım yaparken yalpa hareketi $\pm 11-12^\circ$ 'lik bir salınım yapabilmektedir. Eğer üç hareket de aynı anda yapılmak istenirse birlikte yapabildikleri maksimum salınım ise yalpa hareketi için $\pm 10^\circ$ civarında yunuslama hareketi için $\pm 12^\circ$ civarında ve son olarak yükselme hareketi için ise ± 15 mm civarında olmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada 3 serbestlik derecesine sahip bir hareket taklitçisinin kinematik çözümü yapılmış, MATLAB SimMechanics ve Simulink kullanılarak bu çözümleme bilgisayarda modellenmiş ve sistemin çeşitli konfigürasyonları göz önüne alınarak minimum güç gereksinimini sağlayacak olan optimum konfigürasyonunun bulunması için bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Son olarak da bu çalışmalar sonucu ortaya çıkan optimum sistemin belirli bir güç kaynağı varlığında çıkabileceği maksimum serbestlik menzilleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] BURUCUK, K., "On the Kinematics of a 3-DOF Stewart Platform", Journal of Robotic Systems, Vol 16, Issue 2, s. 1097-4563, 1999.
- [2] LEE, K.M., SHAH, D.K., "Dynamic Analysis of a Three-degrees-of-freedom In-parallel Actuated Manipulator", IEEE Journal of Robotics and Automation, Cilt 4, Sayı 3, s 361-367, 1988.

- [3] FATTAH, A., KASAEI, G., “Kinematics and Dynamics of a Parallel Manipulator with a New Architecture”, Robotica Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, s. 535-543, 2000.
- [4] ATEŞOĞLU, O., ÖZGÖREN, M.K., “The Stabilization Controller Design for a Tripod Type Parallel Manipulator Used for Active Suspension of a Delicate Device”, IEEE International Conference on Control Applications, s. 1239-1246, San Antonio, ABD, 3-5 Eylül 2008.
- [5] LEE, S., SONG, J., “Position Control of a Stewart Platform using Inverse Dynamics Control with Approximate Dynamics”, Mechatronics Dergisi, Cilt13, Sayı 6, s. 605-619, 2003.
- [6] <http://www.inmotionsimulation.com/>, En son görüntüleme tarihi:13.07.2011

ÖZGEÇMİŞ

Rasim Aşkın DİLAN

1984 yılı Ankara doğumludur. 2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makina Mühendisliği Bölümünü ve Mekatronik Yandal Programını bitirdikten sonra 2010 yılında yine ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2010 yılında aynı bölümde Doktora eğitimine başlamıştır. Ayrıca 2007 yılından beri ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Mekatronik, Hareketli Robotlar, Otonom Araç Sürüşü, Kontrol Sistemleri, Kontrol Mimarisi ve Sistem Dinamiği konularında çalışmaktadır.

Ulaş YAMAN

1984 yılı Ankara doğumludur. 2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makina Mühendisliği Bölümünü ve Mekatronik Yandal Programını bitirdikten sonra 2010 yılında yine ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2010 yılında aynı bölümde Doktora eğitimine başlamıştır. Ayrıca 2007 yılından beri ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Endüstriyel Otomasyon, Alan Programlanabilir Kapı Dizinleri, Komut Üretimi, Veri Sıkıştırılması ve Hidrolik konularında çalışmaktadır.

Hakan ÇALIŞKAN

1983 yılında Samsun'da doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında “Lisans”, 2009 yılında “Yüksek Lisans” derecelerini aldı. 2006 dan bu yana ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır ve Doktora çalışmalarını yürütmektedir. Çalışmaları sistem dinamiği, denetim sistemleri, sistem modellemesi, benzetimi ve tanılanması alanlarında yoğunlaşmıştır. Özel olarak pompa denetimli akışkan gücü denetim sistemleri üzerine çalışmaktadır.

Suat DEMİRER

1960 yılında Ankara'da doğmuştur. 1993–2005 yılları arasında Demirer San. ve Tic. Ltd. Şti'nde Genel Müdür olarak görev yapmıştır. 2005 yılından bu yana kendi kuruluşu olan ve aynı zamanda ODTÜ – Teknokent'te yer alan Demirer Teknolojik Sistemler San. ve Tic. Ltd. Şti'nde Genel Müdür olarak çalışma hayatını sürdürmektedir. 1999 yılındaki kuruluşundan bu yana 6 dönemdir HPKON Yürütme Kurulu üyesidir.

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” unvanını aldı. Çalışmaları sistem dinamiği, denetim sistemleri, sistem modellenmesi, benzetimi ve tanılanması, akışkan gücü denetimi, robotik ve uygulamaları ve gerçek zamanlı denetim alanlarında yoğunlaşmış olup, bu konularda çeşitli endüstriyel uygulamalarda yer almıştır. 2001 yılından beri HPKON yürütme kurulu üyesi olarak görev yapmaktadır.