



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 3, Article Number: 1A0025

ENGINEERING SCIENCES

Received: November 2008
Accepted: June 2009
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2009 www.newwsa.com

Ahmet Murat Pınar
Abdulkadir Güllü
Celal Bayar University
ahmet.pinar@bayar.edu.tr
Manisa-Türkiye

BİR HİDROLİK POZİSYONLAMA SİSTEMİNDE PİSTON ÇAPI, İLERLEME ORANI, YÖN VE EKSEN PARAMETRELERİNİN OPTİMUM SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, CNC ile denetlenen hidrolik tahrikli 2-eksenli bir sistemin pozisyonlama doğruluğu istatistiksel olarak incelenmiştir. Piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen parametrelerinin pozisyonlama hatası üzerindeki etkileri ve bunlara ait optimum seviyeler Taguchi yöntemiyle belirlenmiştir. L16 ortogonal matris esas alınarak gerçekleştirilen deneyler %95'lik güven seviyesinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, minimum pozisyonlama hatası 63mm'lik piston çapında, 10mm/d'lık ilerleme oranında "-" yönde ve Y-ekseninde elde edilmiştir. Son olarak optimum seviyelerin kullanıldığı doğrulama deneyleri, metodun sistemi başarı ile optimize ettiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: CNC, Sayısal Denetim, Taguchi Metodu, Hidrolik Pozisyonlama, ANOVA

DETERMINATION OF OPTIMAL LEVELS OF PISTON DIAMETER, FEED RATE, DIRECTION AND AXIS PARAMETERS IN A HYDRAULIC POSITIONING SYSTEM

ABSTRACT

In this study, the positioning accuracy of a two-axis hydraulic driven system controlled by CNC is statistically investigated. The effects of piston diameter, feed rate, direction and axis parameters on the positioning error and their optimum levels are determined via Taguchi method. The experiments conducted based on L16 orthogonal array are evaluated at 95% confidence level statistically. According to this, minimum positioning error is obtained with the piston diameter of 63 mm, feed rate of 10 mm/min, in "-" direction at Y-axis. Finally, the confirmation tests that use optimum levels indicate that the method optimises the system successfully.

Keywords: CNC, Numerical Control, Taguchi Method, Hydraulic Positioning, ANOVA



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kolay kurulum, yüksek cevap hızı, yüksek sistem rijitliği, daha yüksek kuvvet ağırlık oranı ve küçük hacim avantajlarına sahip hidrolik sistemler modellenmesi zor olan sıcaklık değişimleri, sıkıştırılabilirlik, sızıntılar, atalet yükü, sürtünme vb. lineer olmayan parametreler sebebiyle kararlılıklarını kaybetmektedirler. Hidrolik sistemlerin doğrusal olmayan bu davranışlarının telafisi için adaptif ve değişken yapı denetimi (DYD) en çok tercih edilen kontrol metotlarıdır.

Adaptif kontrolcülerin birçoğunda [1, 2, 3, 4 ve 5], sistem için lineerleştirilmiş model kullanılmaktadır. Bu denetleyiciler değişen sistem parametrelerine karşı tatminkâr olmalarına karşı, genel kararlılık eksikliği bunlara ait en önemli olumsuzluktur [6].

Klasik DYD [7, 8 ve 9] ise parametre değişimlerine ve dış bozucu etkilere karşı dayanıklı olmasına karşın, bünyesindeki bileşen tahribatı ve yüksek kontrol aktivitesine sebep olan titreşim kaçınılmazdır. Genel olarak DYD'deki titreşim, kontrol girişi yani DYD çıkışında ve durum uzayındaki durum değişkenlerde olmak üzere 2'ye ayrılmakta olup, bunlar farklı özellikli ve kaynaklıdır [10]. Bununla ilgili en popüler metotlar sınır katmanı [11 ve 12] ve erişim kuralı [13, 14 ve 15] yaklaşımlarıdır.

Günümüzde özellikle takım tezgâhlarının kontrolünde kullanılan CNC denetleyiciler, mikron seviyesindeki pozisyon doğruluğuyla, özellikle karmaşık ve hassas parçaların imalatında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Buna karşın, hidrolik sistemlerin denetimlerinde çok fazla kullanılmamaktadırlar. Altıntaş ve Lane [16] apkant presin hız ve pozisyon kontrolünü açık mimari CNC sistemle gerçekleştirmiştir. Pınar ve Güllü CNC takım tezgâhlarının temel hareketlerini gerçekleştirebilen hidrolik olarak tahriklenen iki eksenli bir pozisyonlama sistemi yapılandırmışlardır [17]

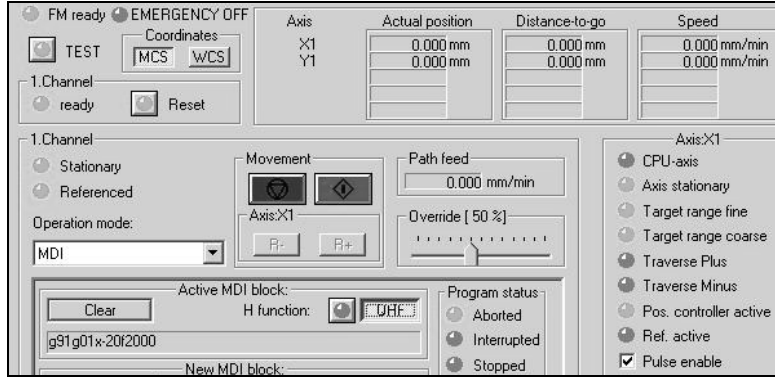
Yapılan çalışmada, [17]'deki hidrolik sistem kullanılarak, piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen parametrelerinin pozisyonlama doğruluğu üzerindeki etkileri Taguchi metodu ile incelenerek, bunlara ait optimum seviyeler belirlenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Özellikle Otomasyon ve Makine tasarımı alanlarına ışık tutacağı düşünülen çalışmada, CNC ile denetlenen hidrolik bir yapıda, modellenmesi zor piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen parametrelerinin pozisyonlama hatası üzerindeki etkileri ve en iyi seviyeleri belirlenmiştir.

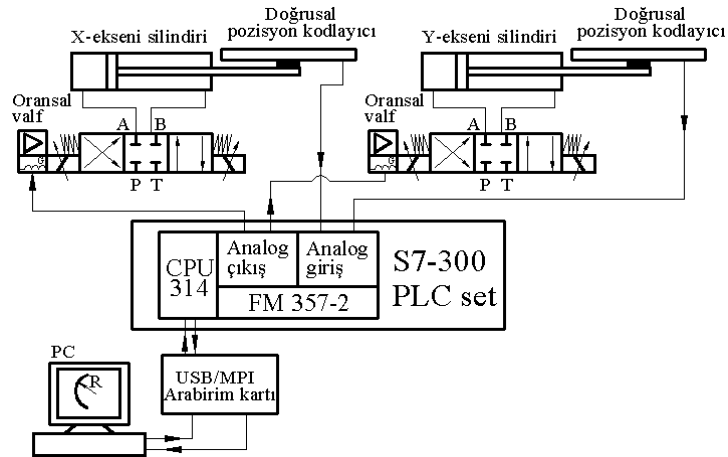
3. CNC HİDROLİK SİSTEM (CNC HYDRAULIC SYSTEM)

Prototip, Siemens S7-300 PLC setine ait 4-eksen CNC denetleyici ile (FM-357) kapalı çevrim olarak kontrol edilmektedir. Geri besleme elemanı olarak 5µm'lik doğrusal pozisyon kodlayıcı kullanılmıştır. Gerçekleştirilecek hareket, denetleyiciye ait yazılımla MDI (Manuel Data Input) modunda, CNC kod olarak girilmektedir. Şekil 1'de X-ekseninde, "-" yönde, 20mm hareket mesafesinde ve 2000mm/d'lık ilerleme oranında gerçekleştirilen harekete ait komut girişi görülmektedir.



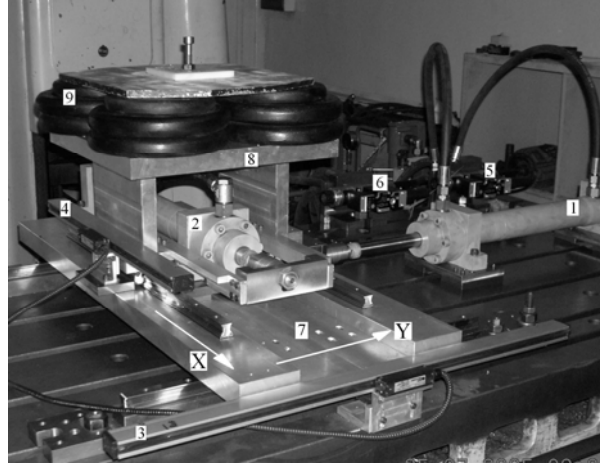
Şekil 1. MDI modunda komut girişi [18]
(Figure 1. Command input in the MDI mode [18])

CNC komuta ait veriler, USB/MPI arabirim kartı vasıtası ile PLC (Programable Logic Controller) setin işlemcisine (CPU-314) iletilir. CNC denetleyici (FM 357-2), ± 10 Volt'luk çalışma gerilimi aralığında uygun elektrik sinyalini valfin bobinlerine uygular. Valfin yönlendirdiği silindirler, eksenleri uygun hızda hareket ettirerek, istenilen hareketin gerçekleştirilmesini sağlar (Şekil 2) [18].



Şekil 2. Sistemin çalışma prensibi [18]
(Figure 2. Working principle of the system [18])

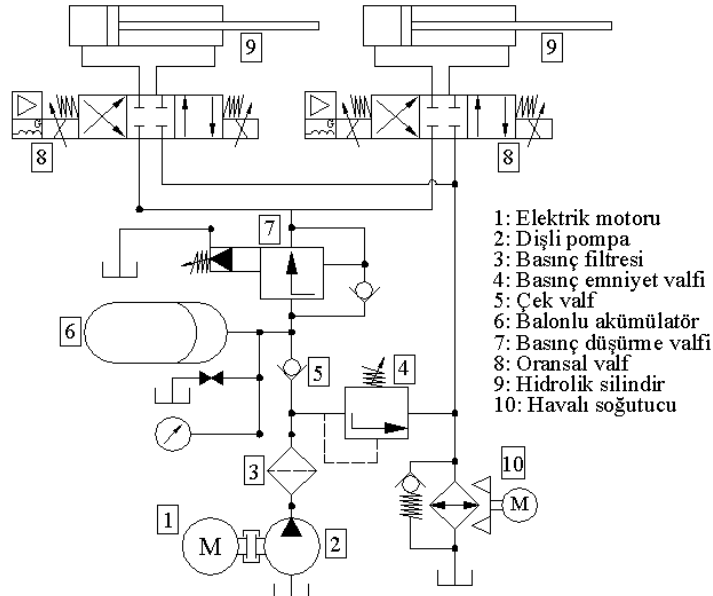
Düzenek CNC dik işleme merkezine benzer yapıda, 90° monte edilmiş X ve Y eksenlerinden oluşmaktadır. Mekanik yapı, CNC temel hareketleri olan doğrusal interpolasyon (G01) ve dairesel interpolasyon (G02, G03) hareketlerini yapabilir yetenekte tasarlanmıştır (Şekil 3). Her iki eksen de hareket iletimleri, bilyeli araba ve ray-kızak sistemi ile sağlanmıştır. Sistemde star firmasına ait 4 adet 1605-804-31/600 sipariş kodlu 20'lik ray-kızak ve 8 adet 1622-894-10 sipariş kodlu bilyeli araba kullanılmıştır [17].



Şekil 3. Mekanik aksam: (1) Y-ekseni silindiri, (2) X-ekseni silindiri, (3) Y-ekseni doğrusal pozisyon kodlayıcısı, (4) X-ekseni doğrusal pozisyon kodlayıcısı, (5) Y-ekseni oransal valfi, (6) X-ekseni oransal valfi, (7) Y-ekseni tablası, (8) X-ekseni tablası, (9) Ağırlıklar [18]

(Figure 3. Mechanical structure: (1). Y-axis cylinder, (2) X-axis cylinder, (3) Y-axis linear encoder, (4) X-axis linear encoder, (5) Y axis proportional directional valve, (6) X-axis proportional directional valve, (7) Y-axis table, (8) X-axis table, (9) Weights [18])

Şekil 4'de görüldüğü gibi, cihazda kullanılan hidrolik yapı bir dıştan dişli pompa (22.5 cm³/devir), 2 adet tek rodlu silindir (Piston çapı 40 ve 63mm), bir basınç emniyet valfi (Boyut 10, 100 bara kadar basınç ayarı), bir pilot uyarılı basınç düşürme valfi (Boyut 10, 100 bara kadar basınç ayarı), bir balonlu akümülatör (330 bar maksimum çalışma basıncı, 4Lt hacim), bir hassas basınç filtresi (110lt/d geçirgenlik, 10µm elek boyutu), bir çek valf (207 Bar çalışma basıncı), bir havalı soğutucu (24V DC, 3000dev/d, 0,1KW) ve iki adet 4/3 oransal yön kontrol valfinden (Büyükölçü NS6) oluşmaktadır.



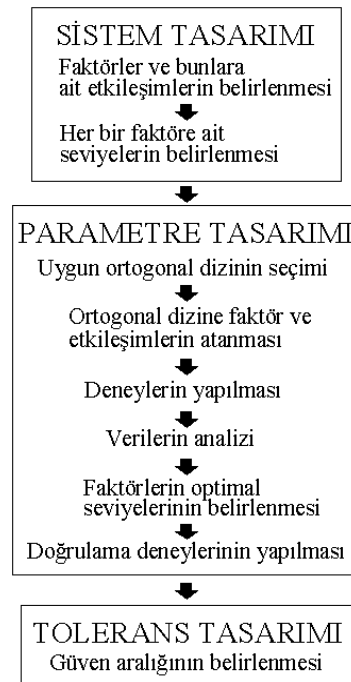
Şekil 4. Sistemin hidrolik devresi
(Figure 4. Hydraulic circuit diagram of the system)



Deneyler X ve Y eksenlerinde gerçekleştirilmiş olup, Yön faktöründeki "+", silindirin rotsuz kısmından öne doğru olan hareket yönünü, "-" ise, rotlu kısımdan arkaya doğru olan hareket yönünü ifade etmektedir. (Şekil 3'de eksenlere ait "+" yönler okla belirtilmiştir)

4. TAGUCHİ METODU (TAGUCHI METHOD)

60'lı yıllarda, Genichi Taguchi tarafından önerilen metot, endüstriyel ürün kalitesinin iyileştirilmesinde ispatlanan başarısından ötürü, yaygın olarak uygulanmaktadır [19 ve 20]. Bunun yanında, düşük deney sayısı, işlem parametrelerinin kalite karakteristiği üzerindeki etkilerinin ve optimum faktör seviyelerinin kolaylıkla belirlenmesi, metodun çekiciliğini arttırmaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi Taguchi metodu 3 ana evreden oluşmakta olup, bunlar sırasıyla sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır.



Şekil 5. Taguchi uygulama adımları
(Figure 5. Application steps of Taguchi method)

4.1. Sistem Tasarımı (System Design)

Şekil 5'de belirtildiği gibi sistem tasarımı aşaması, faktörler ve bunlara ait etkileşimlerin ve faktörlere ait seviyelerin belirlenmesini içermektedir. Bu doğrultuda, Piston çapı, ilerleme oranı, yön ve eksen faktörlerinin ve bunlara ait tüm ikili etkileşimlerin pozisyonlama hatası (H) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tablo 1'de kullanılan faktörler ve bunlara ait seviyeler belirtilmiştir. Her bir deney üç kez tekrar edilmiş ve ölçümlere ait ortalamalar (H_{ort}) istatistiksel analizlerde response (bağımlı değişken) olarak kullanılmıştır.



Tablo 1. Faktörler ve seviyeleri
(Table 1. Factors and their levels)

Kontrol Faktörleri	Birimler	Seviyeler	
		1	2
Piston çapı (A)	mm	40	63
İlerleme oranı (B)	mm/d	10	1000
Yön (C)	-	(+)	(-)
Eksen (D)	-	X	Y

4.2. Parametre Tasarımı (Parameter Design)

Çalışmadaki deney sayısını ve doğruluğunu direkt olarak etkileyen ortogonal dizinin seçimi faktör ve etkileşimlerin toplam serbestlik derecesine dayalı olarak belirlenmektedir. Seçilen ortogonal diziye ait serbestlik derecesi, sistemin serbestlik derecesinden büyük ya da eşit olmalıdır. Deney sisteminin serbestlik derecesi, faktör seviye ve etkileşim sayısına göre belirlenmektedir. İlgili faktöre ait serbestlik derecesi, seviye sayısı-1 olarak belirlenmektedir. Buna göre 4 faktör olduğuna göre faktörlere ait serbestlik derecesi 4 dür. Etkileşimlerde ise, etkileşimi oluşturan faktörlere ait serbestlik dereceleri çarpılarak serbestlik derecesi hesaplanır. Buna göre 6 adet etkileşim olduğuna göre bunlara ait serbestlik derecesi 6'dır. Toplamda, 6+4 olmak üzere, sistemin serbestlik derecesi 10 olarak belirlenmiştir.

Deneylerde 15 sütun ve 16 satırdan oluşan 15 serbestlik dereceli L16'lık ortogonal dizi seçilmiştir (Tablo 2). Bu dizi aynı zamanda deney planını oluşturmakta olup, dizideki 16 satır parametrelerin farklı kombinasyonlarındaki deneyleri ifade etmektedir. Dizinin sütunlarına faktör ve bunlara ait etkileşimler atanmaktadır. Dizideki birinci sütun piston çapına (A), ikinci sütun ilerleme oranına (B), dördüncü sütun yöne (C), sekizinci sütun eksene (D) ve geri kalanlarda ikili etkileşimlere atanmıştır.

Tablo 2. Sistemde kullanılan L16 ortogonal dizi
(Table 2. L16 Orthogonal array used in the system)

DENEY NO	SÜTUN NO														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	A	B	AXB	C	AXC	BXC	-	D	AXD	BXD	-	CXD	-	-	-
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1



4.2.1. Verilerin analizi (Data analysis)

Taguchi'ye ait L16 deney planı esas alınarak gerçekleştirilen deneysel veriler (Tablo 3), %5'lik anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Ortalama deney sonuçları
(Table 3. Average experimental results)

Deney no	Piston çapı (A)	İlerleme oranı (B)	Yön (C)	Eksen (D)	H _{ort}
1	40	10	+	X	0.26
2	40	10	+	Y	0.133
3	40	10	-	X	0.253
4	40	10	-	Y	0.087
5	40	1000	+	X	0.427
6	40	1000	+	Y	0.493
7	40	1000	-	X	0.54
8	40	1000	-	Y	0.493
9	63	10	+	X	0.18
10	63	10	+	Y	0.06
11	63	10	-	X	0.167
12	63	10	-	Y	0.06
13	63	1000	+	X	0.387
14	63	1000	+	Y	0.46
15	63	1000	-	X	0.44
16	63	1000	-	Y	0.387

Varyans analizi (ANOVA)(Analysis of variance)

Çalışmada, işlem parametrelerinin pozisyonlama hatası üzerindeki anlamlılıkları ANOVA ile belirlenmiştir. Bunun yanında minimum pozisyonlama hatası ANOVA sonuçları (Tablo 4) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

ANOVA'da ilgili parametrenin anlamlılığı, o parametreye ait varyansın hatanın varyansına oranı olan F değerinin, F_{tablo} ($F_{0.05}$) değeri ile karşılaştırılması ile belirlenir. Tablo değeri kullanılan anlamlılık düzeyinde (0.05), parametrenin ve hatanın serbestlik derecesi dikkate alınarak standart tablolardan elde edilmektedir. Şayet parametreye ait F değeri büyük ise, parametre anlamlı kabul edilmektedir. Buna göre, piston çapı, ilerleme oranı, eksen, ilerleme oranı-eksen, yön-eksen faktör ve etkileşimlerinin pozisyonlama hatası üzerinde anlamlı oldukları görülmektedir. ANOVA'nın son sütununda faktörlerin sonuç üzerindeki etki derecesini ifade eden yüzdelik oranlar verilmiştir. İlerleme oranı yaklaşık %85.004'lük yüzdeyle pozisyonlama hatasını domine etmektedir. Bu parametreyi anlamlılık derecesine göre, ilerleme oranı-eksen (%4.469), piston çapı (%4.246), eksen (%3.298) ve yön-eksen (%0.971) faktör ve ikili etkileşimleri izlemektedir (Tablo 4).



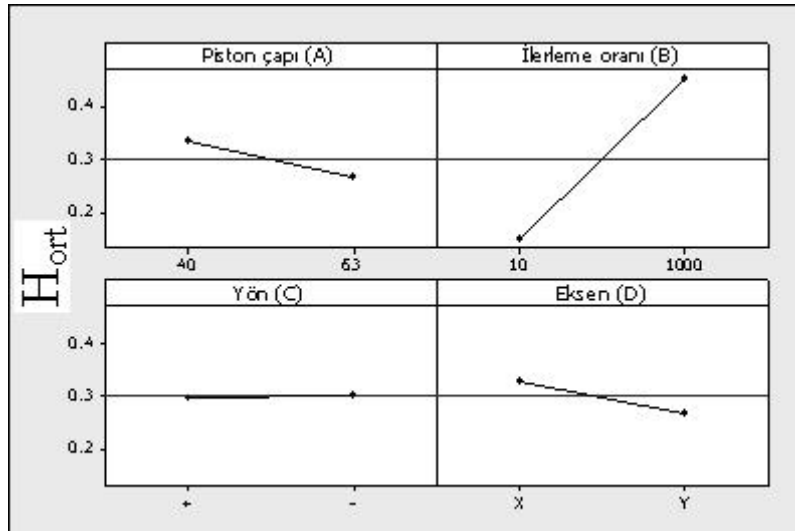
Tablo 4. Ortalamalar için ANOVA sonuçları
(Table 4. ANOVA results for means)

Kaynak	SD	KT	Varyans	F	KT'	%Dağılım
Piston çapı (A)	1	0.018564	0.018564	100.13	0.018379	4.246
İlerleme oranı (B)	1	0.368146	0.368146	1985.69	0.367961	85.004
Yön (C)	(1)	(0.000046)	-	Pooled	-	-
Eksen (D)	1	0.014460	0.014460	77.99	0.014275	3.298
AxB	(1)	(0.000011)	-	Pooled	-	-
AxC	(1)	(0.000541)	-	Pooled	-	-
AxD	(1)	(0.000281)	-	Pooled	-	-
BxC	(1)	(0.001580)	-	Pooled	-	-
BxD	1	0.019530	0.019530	105.34	0.019345	4.469
CxD	1	0.004389	0.004389	23.67	0.004204	0.971
Genişletilmiş hata	42	0.007788	1.854×10^{-4}		0.008711	2.012
Total	47	0.432875				100

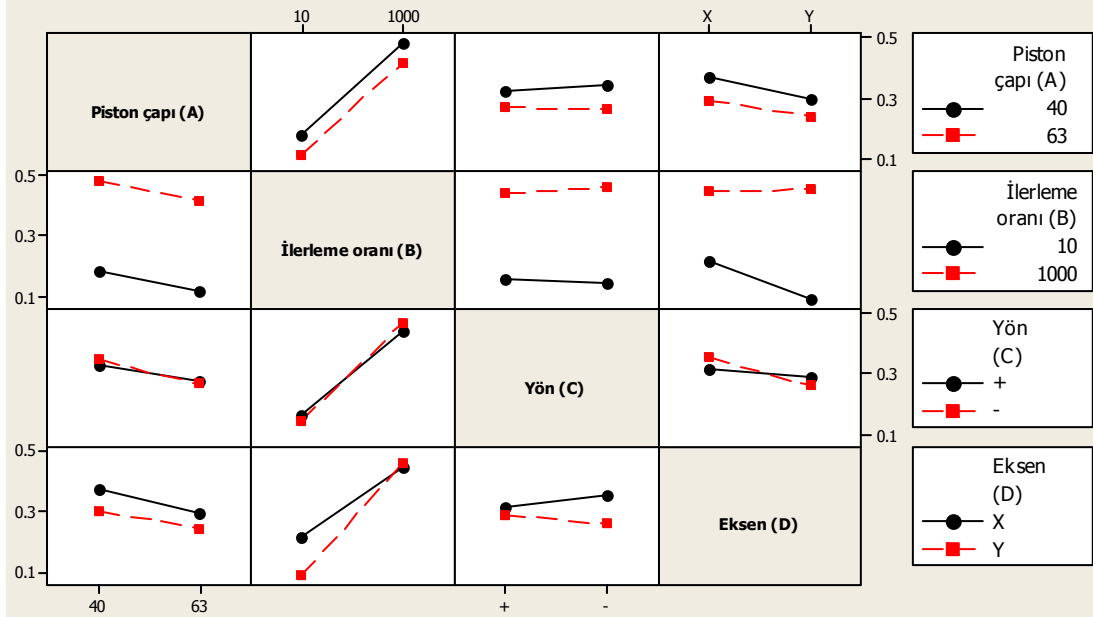
SD: Serbestlik derecesi, KT: Karelerin toplamı, KT': Saf karelerin toplamı, $F_{0.05,1,42} = 4.07$

4.2.2. Optimum Faktör Seviyelerinin Belirlenmesi (Determination Of Optimum Factor Levels)

Optimum faktör seviyeleri, ANOVA, ana ve etkileşim grafikleri esas alınarak belirlenmiştir. ANOVA'ya göre Piston çapı, ilerleme oranı ve yön-eksen etkileşimlerine ait ortalamalar dikkate alındığında, minimum pozisyonlama hatasının belirlenmesinde, tüm faktörlere ait etkiler hesaba katılmış olacaktır. Şekil 6'da Piston çapının ikinci (A=63mm) ve İlerleme oranının da birinci seviyesinde (B=10mm/d) alınacağı açıktır. Yön ve eksene ait seviyeler, ikili etkileşimler grafiğinden (Şekil 7) belirlenmelidir. Yönün (C="-") ve eksenin (D="Y") ikinci seviyelerinde pozisyonlama hatası minimumdur.



Şekil 6. Ortalama pozisyonlama hatası (H_{ort}) için ana etkiler grafiği
(Figure 6. Main effects plot for average positioning error (H_{ort}))



Şekil 7. Ortalama pozisyonlama hatası (H_{ort}) için etkileşim grafiği
(Figure 7. Interaction plot for average positioning error (H_{ort}))

Bu veriler ışığında, tahmini minimum pozisyonlama hatası Eş.1'e göre elde edilebilmektedir:

$$T_{opt} = \mu_A + \mu_B + \mu_{CXD} - 2\mu_T \quad (1)$$

Burada μ_A piston çapının en iyi seviyesine (2. seviye) ait ortalamayı (Tablo 3'deki 9-16 no'lu deneyler, $\mu_A=0.268\text{mm}$), μ_B ilerleme oranının en iyi seviyesine (1. seviye) ait ortalamayı (Tablo 3'deki 1-4 ve 9-12 no'lu deneyler $\mu_B=0.15\text{mm}$), μ_{CXD} yönün ve eksenin ikinci seviyelerindeki etkileşimlere ait ortalamayı (Tablo 3'deki 4,8,12 ve 16 no'lu deneyler, $\mu_{CXD}=0.257\text{mm}$) ve μ_T de tüm deneylere ait aritmetik ortalamayı ifade etmektedir (0.302mm). Buna göre, tahmin edilen minimum pozisyonlama hatası, $T_{opt}=0.071\text{mm}$ 'dir.

4.3. Tolerans Tasarımı (Tolerance Design)

Taguchi'nin son uygulama basamağı olan tahmin edilen optimum değer için güven aralığı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [21]:

$$CI = \left(F_{0.05}(1, sd_e) \cdot V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right] \right)^{1/2} \quad (2)$$

Burada $F_{0.05}(1, sd_e)$, 0.05 anlamlılık seviyesinde 1'e ve hatanın serbestlik derecesine göre tablolardan elde edilen F değeri ($F_{0.05}(1, 42)=4.07$), V_e hataya ait varyans değeri (1.854×10^{-4}), R doğrulama deney sayısı (3) ve n_{eff} de etkin tekrar sayısı olup, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + V_t} \quad (3)$$

Burada, N toplam deney sayısını (48), V_t ' de, ortalamanın hesaplandığı işlem parametrelerine ait toplam serbestlik derecesidir (3). Buna göre, n_{eff} , 12 olarak elde edilmiştir. Bu veriler ışığında güven aralığı 0.018 olarak bulunmuştur. Buna göre doğrulama deneyi sonucu: 0.053mm ile 0.089mm arasında olmalıdır.



Yapılan üç adet doğrulama deneyleri sonucunda, ortalama 0.068mm'lik pozisyonlama hatası elde edilmiştir. Bu değer, hesaplanan güven aralığının içerisinde olduğu ve metodun sistemin optimizasyonunu başarılı olarak gerçekleştirdiği görülmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Taguchi' ye ait L16'lık ortogonal dizi esas alınarak elde edilen deney sonuçlarının istatistiksel analizi yapılarak, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Faktörlerin ana etkileri dikkate alındığında, yön dışındaki tüm faktörlerin pozisyonlama hatası üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olduğu elde edilmiştir.
- Faktörlere ait ikili etkileşimlerde ise, sadece ilerleme oranı-eksen ve yön-eksen parametrelerinin istatistiksel olarak anlamlı oldukları görülmüştür.
- İlerleme oranının pozisyonlama hatası üzerinde %58.032'lik dominant bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu parametreyi anlamlılık sırasına göre ilerleme oranı-eksen (%4.469) piston çapı (%4.246), eksen (%3.298) ve yön-eksen (%0.971) faktör ve etkileşimleri izlemektedir.
- ANOVA, ana etkiler ve etkileşimlere ait grafikler esas alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda; minimum pozisyonlama hatası 63mm'lik piston çapında, 10mm/d'lik ilerleme oranında, "-" yönde ve Y ekseninde elde edilmiştir.
- Yapılan üç adet doğrulama deneyleri ve güven aralığı hesaplamaları sonucunda Taguchi metodunun hidrolik sisteme ait optimizasyonu başarı ile gerçekleştirilmiştir ($0.053 < H_{ort} = 0.068 < 0.089$).

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, maddi katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje kodu: 07/2003-20) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Shih, M.C. and Sheu, Y.R., (1991). The Adaptive Position Control of an Electro-Hydraulic Servo Cylinder. JSME International Journal. Series C, Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, Volume:34, Number:3, pp:370-376.
2. Bobrow, J.E. and Lum, K., (1995). Adaptive, High Bandwidth Control of a Hydraulic Actuator. In American Control Conference Proceedings of the 1995, pp:71-75
3. Hori, N., Pannala, A.S., Ukrainetz, P.R. and Nikiforuk, P.N., (1989). Design of an Electro-Hydraulic Positioning System Using a Novel Model Reference Control Scheme. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Volume:111, pp:292-298.
4. Plummer, A.R. and Vaughan, N.D., (1996). Robust Adaptive Control for Hydraulic Servo Systems. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Volume:118, pp:237-244.
5. Lee, S.R. and Srinivasan, K., (1990). Self-Tuning Control Application to Closed-Loop Servo-Hydraulic Material Testing. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Volume:112 pp:681-689.
6. Sohl, G.A. and Bobrow, J.E., (1999). Experiments and Simulations on the Nonlinear Control of a Hydraulic Servo System. IEEE Transactions on Control Systems Technology, Volume:7, Number:2, pp:238-247.



7. Chern, T.L. and Wu, Y.C., (1991). Design of Integral Variable Structure Controller and Application to Electro-Hydraulic Velocity Servo Systems. *Control Theory and Applications*, Volume:138, Number:5 pp:439-444.
8. Lee, K.I. and Lee, D.K., (1990). Tracking Control of a Single-Rod Hydraulic Cylinder Using Sliding Mode. In: *Proceedings of the 29th IEEE Conference Tokyo-Japan*, pp:865-868.
9. Hwang, C.L. and Lan, C.H., (1994). The Position Control of Electro-Hydraulic Servo Mechanism via a Novel Variable Structure Control. *Mechatronics*, Volume:4, Number:4, pp:369-391.
10. Hung, J.C., (1993). Chattering Handling for Variable Structure Control Systems. In: *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, Proceedings of the IECON '93*, pp:1968-1972.
11. Hwang, C.L., (1996). Sliding Mode Control Using Time-Varying Switching Gain and Boundary Layer for Electro-Hydraulic Position and Differential Pressure Control. *IEE Proceedings Control Theory & Applications*, Volume:143, Volume:4, pp:325-332.
12. Chen, H.M. Renn, J.C. and Su, J.P., (2005). Sliding Mode Control with Varying Boundary Layers for an Electro-Hydraulic Position Servo System. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Volume:26, Number:1, pp:17-123.
13. Gao, W.B. and Hung, J.C., (1993). Variable Structure Control of Nonlinear Systems: A New Approach. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Volume:40, Number:1, pp:45-55.
14. Jerouane, M. Sepehri, N. and Lagarrigue, F.L., (2004). Dynamic Analysis of Variable Structure Force Control of Hydraulic Actuators via The Reaching Law Approach. *International Journal of Control*, Volume:77, Number:14, pp:1260-1268.
15. Hung, J.Y. and Hung, J.C., (1994). Chatter Reduction in Variable Structure Control. *Industrial Electronics, Control and Instrumentation, IECON '94* 3, pp:1914-1918.
16. Altıntaş, Y. and Lane, A.J., (1997). Design of an Electro-Hydraulic CNC Press Brake. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Volume:37, Number:1, pp:45-59.
17. Pinar, A.M. ve Güllü, A., *Hidrolik Tahrikli Sayisal Denetimli Cihaz. Bölüm 1: Sistemin Yapılandırılması*. Soma M.Y.O. Teknik Bilimler Dergisi, Baskıda.
18. Pinar, A.M., (2006). *Hidrolik Tahrikli Sayisal Denetimli Bir Sistemde Dairesel Interpolasyon Hareketlerinin Analizi*. Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. Taguchi, G. Elsayed, E.A. ve Hsiang, T., (1989). *Quality Engineering in Production Systems*. McGraw-Hill, New York.
20. Chang, C. and Kuo, C., (2007). Evaluation of Surface Roughness in Laser-Assisted Machining of Aluminium Oxide Ceramics with Taguchi Method. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Volume:47, pp:141-147.