



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Prototip olarak Tasarlanan Lineer Delta Robotun Doğruluk ve Tekrarlanabilirlik Performansı

 Mustafa AYYILDIZ^{a,*},  Elmas AŞKAR AYYILDIZ^b

^a Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafaayyildiz@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.589330

ÖZET

Paralel kinematik mekanizmalar ailesinden olan lineer delta robot, 3 adet lineer aktüatör ile hareket ettirilen, bir sabit ve bir hareketli platformdan oluşan bir robottur. Bu çalışmada, lineer delta robotun prototipi yapılarak doğruluk ve tekrarlanabilirlik performansı gerçekleştirilmiştir. Lineer delta robot için deney tasarımı düzeneği kurulmuş ve ISO 9283 standardına göre ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik parametreleri Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılarak robotun performansı bulunmuştur. Yapılan testlerde robotun ortalama doğruluğu 1,25 mm ve ortalama tekrarlanabilirliği ise 1,45 mm bulunmaktadır. Sonuç olarak yapılan testler açık çevrim kontrol metoduyla yapıldığı için literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Lineer delta robot, doğruluk, tekrarlanabilirlik

Accuracy and Repeatability Performance of Prototype Linear Delta Robot

ABSTRACT

The linear delta robot, which is a family of parallel kinematic mechanisms, is a robot consisting of a fixed and a moving platform, driven by 3 linear actuators. In this study, accuracy and repeatability performance of linear delta robot was performed. Experimental design for linear delta robots was established and average accuracy and repeatability parameters according to ISO 9283 standard were found to be robot's performance by using Microscribe G2X coordinate measuring device. In the tests, the average accuracy of the robot is 1.25 mm and the average repeatability is 1.45 mm. As a result, the tests are similar to those in the literature because they are performed by open loop control method.

Keywords: Linear delta robot, accuracy, repeatability

I. GİRİŞ

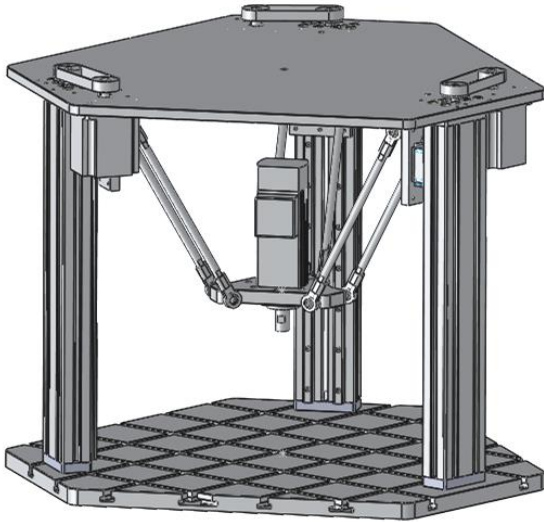
Paralel kinematik mekanizmalar, sabit ve hareketli platforma eklem bileşenleri ile bağlıdır. Eklemlerdeki prizmatik aktüatörler eklemlerin boyunu değiştirir. Bu tür paralel kinematik mekanizmaların en yaygın olanı Stewart mekanizması olarak bilinmektedir [1]. Paralel mekanizmalar tıbbi operasyonlar, talaşlı imalat, robot kol uç organı, oyun simülatörleri, uçuş simülatörleri, cilalama ve kesme, hafif metal işleme, fotonik/ fiberoptik sıralama ve iş süreçleri en çok kullanıldıkları endüstriyel uygulamalardır [2]. Paralel kinematik mekanizmalar düzlemsel ve uzamsal mekanizmalara ayrılır ve uç-efektörün serbestlik derecesi ile aktüatör ve eklem düzenlemesi ile sınıflandırılır [3]. Serbestlik derecelerine göre sınıflandırılan paralel kinematik mekanizmalar literatürde üç ayak (triglide ve lineer delta) ve altı ayak (hexapod ve hexaglidle) olmak üzere iki gruba ayrılırlar [4].

Doğruluk ve tekrarlanabilirlik bir robottan beklenen en temel kriterler arasındadır. Günümüz endüstrinde robot teknolojisi, seri kinematik mekanizmalar üzerine çalışmalarını devam ettirmektedir. Fakat endüstrinin ihtiyaç duyduğu doğruluk, hassasiyet ve hız gibi parametreler mevcut seri kinematik mekanizmalar ile karşılanmamaktadır. Paralel kinematik mekanizmasında eklemler ayrı olarak, aynı gövde üzerine kurulmakta ve hiçbir kol bir sonrakini kaldırmak zorunda kalmayarak, gereksiz bir yüke maruz kalmamaktadır. Bu nedenle paralel kinematik mekanizmaların eklemlerin hafiflemesi ile motorların daha hızlı ve verimli çalışması sağlanmaktadır. Paralel robotlar içinde en yaygın kullanılan yapılardan biriside lineer delta robotlardır. Lineer delta robotlar gibi paralel robotlar da hatalar birbiri üzerine eklenmediği için daha hassas konumlama yapma olanağı sağlanabilmektedir. Lineer delta robot, üç adet lineer aktüatör ile hareket edilen, sabit ve hareket platformdan oluşan bir robottur. Kullanılan aktüatörler mekanik, pnömatis veya hidrolik olabilirler. Pozisyon ve yük dengesinin çok hassas olduğu işlemlerde vidalı miller veya kapalı çevrim hidrolik sistemler kullanılmaktadır [5]. Lineer delta robotlar 3 adet koldan ve 2 adet üçgen platformdan oluşmaktadır. Kollar sabit platforma 120 derecelik açı ile bağlanmış olup kolların diğer uçları sabit platformdan daha küçük hareketli bir platforma bağlanmıştır [6]. Delta robotlar elektronik sanayi başta olmak üzere tıbbi uygulamalarda ameliyat robotu, konveyör bantlarda al ve yerleştir işlemlerinde küçük parçaların taşınmasında, sıralama, birleştirme ve montaj ve paketleme sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [2,7]. Lineer delta robotların doğruluk ve tekrarlanabilirlik performansları yapılan işlemin hassasiyetine göre değişmektedir. Literatürde robotların performansı, açık çevrim metotları ile ilgili görsel sistem olarak kamera [8], koordinat ölçüm cihazı [9-10] ve lazer takip sistemi [11] gibi ölçüm aletleri kullanılmaktadır. Slamani vd. Renishaw XL80 lazer interferometre sistemini kullanarak üç farklı küçük altı eksenli endüstriyel robot modelinin statik ve dinamik performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için bir teknik sunmuşlardır [12]. Semjon vd. ABB IRB360 delta robotun bireysel döngülerinin yürütülmesinde telafi edilebilecek sapma değerini tespit etmek için bir kontrol ölçümü sunmuşlardır [13]. Traslosheros vd, paralel bir robotun kalibrasyonu için, nominal parametrelere dayalı bir konfigürasyon yerine daha doğru bir konfigürasyona izin veren yeni bir yöntem sunmuşlardır. Delta robottan ilham alan paralel bir robotun doğruluğunu arttırmak için robot eline tutturulan bir kamera ile kalibrasyon yöntemi geliştirmişlerdir [14]. Mosqueira vd. altı serbestlik dereceli bir kuka robotun EN ISO 9283 standardına göre döner-lazer ölçü aleti ile açık çevrim kontrol metodunu kullanarak ortalama doğruluğunu 4,53 mm, kapalı çevrim kontrolünü ise ortalama doğruluğu 0,38 mm bulmuşlardır [15]. Benzer şekilde Ayyıldız, dört serbestlik dereceli bir seri robotun EN ISO 9283 standardına göre koordinat ölçme aleti ile açık çevrim kontrol metodunu kullanarak ortalama doğruluğunu 7,34 mm, ortalama tekrarlanabilirliği ise 4,79 mm bulmuştur [16]. Bu çalışmada prototipi yapılan lineer delta robotun doğruluk ve tekrarlanabilirlik parametreleri Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılarak robotun performansı gerçekleştirilmiştir.

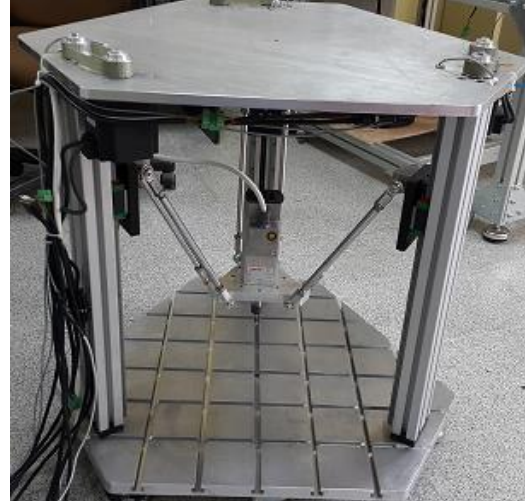
II. MATERYAL VE METOD

A. LİNEER DELTA ROBOTUN TASARIMI VE PROTOTİPİ

Şekil 1’de tasarlanan lineer delta robot mekanizmasının katı modeli ve prototipi gösterilmektedir. Prototip olarak tasarlanan lineer delta robot 3 serbestlik dereceli olup literatürde triglide robot olarak geçmektedir. 3 ayrı step motor kullanılarak hareket kontrol kartı ile robot kontrol edilmektedir. Lineer delta robotun, kolları üzerinde doğrusal hareket yapmasını sağlamak için lineer modül kullanılmıştır. Lineer modülün gövdesi 45x90 alüminyum 6063 profilden yapılmış olup, hareket hızı 0,1 m/s, 1 turda aldığı yol 5 mm, vidalı mili Ø12 mm çapında, 15’lik lineer ray ve dar lineer araba kullanılmakta ve pozisyon konumlama hassasiyeti 0,01 mm ve 500 mm çalışma alanına sahiptir. Lineer modülün doğrusal hareketini, hareketli platforma ileten mafsal olarak küresel mafsal kullanılmış olup radyal boşluk 0,035 mm, aksel boşluk ise 0,05 mm’den azdır ve dönme açısı 220’dir. Lineer delta robotun alt ve üst platform ve hareketli platform alüminyum 7075 malzemesi, hareketli platform ile modül arasındaki rot kollarında ise 10 mm krom kaplı indüksiyonlu mil kullanılmıştır. Lineer modülleri tahrik eden step motorları ise 3,5 Nm tutma torku sahip ve 3,8 A akım çekmektedir. Step motorları, 200 Khz pals üretebilen step motor sürücü ile sürülmektedir. Lineer delta robotun mekanizmasının kontrolü ise AKZ250 USB kontrol kartı ile step motorların yönlendirilmesi yapılmıştır [17].



(a)



(b)

Şekil 1. Tasarlanan lineer delta robot a) katı modeli ve b) prototipi.

B. LİNEER DELTA ROBOTUN KİNEMATİĞİ

Şekil 2’de lineer delta robotun geometrik tanımlamaları verilmiştir. Robot, sabit platforma entegre edilmiş kollar ve hareketli platformdan oluşmaktadır. Hareketli platform ile sabit platform arasındaki bağlantılar α_i açısıyla yerleştirilmiş 3 kinematik zincir ile bağlanmıştır. Her kinematik zincir, L uzunluğunda 2 paralel rot (başında ve sonunda küresel bağlantı ile) ve lineer aktüatör ile birleştirilmiştir [18]. Hareketli platform daima sabit platforma paralel kalmaktadır. Hareketli platform, 3 aktüatörün hep birlikte hareketinden oluşan hareket ile ötelenmektedir. Literatürde lineer delta robotun kinematik modellenmesi için yapılan farklı çalışmalar mevcuttur [18-22]. Burada lineer delta

robotun kinematik denklemleri, Aşkar Ayyıldız ve Ayyıldız yaptığı çalışmadan referans alınmıştır [23].

$\{R_0\}$: (O_0-x_0, y_0, z_0) : “ O_0 ” sabit platform için referans çerçevesi, $O_1O_2O_3$ eşkenar üçgenin ortasındaki ve aynı zamanda R_b yarıçapı olan dairenin merkezidir.

$\{R_p\}$: $(P-x_p, y_p, z_p)$: “ P ” mobil platform için referans çerçevesi, $B_1B_2B_3$ eşkenar üçgenin merkezi ve ayrıca R_n yarıçapı olan dairenin merkezidir.

q_1, q_2, q_3 : 3 doğrusal aktüatörün strok kontrolü için değişkenleri bağları, L hareketli platform ile sabit platform arasındaki bağın boyu, $\|A_iB_i\| = L$ olarak denklem (1)’de verilmiştir.

$$A_iB_i^2 - L^2 = 0, i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

B_i hareketli platformun koordinatı denklem (2)’de, A_i sabit platformun koordinatı denklem (3)’de verilmiştir. α_i , 3 doğrusal aktüatörün konum açısını belirtmektedir.

$$[B_i]_{sabit} = \begin{bmatrix} x + R_n \cos \alpha_i \\ y + R_n \sin \alpha_i \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[A_i]_{sabit} = \begin{bmatrix} R_b \cos \alpha_i \\ R_b \sin \alpha_i \\ q_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{2\pi}{3} (i - 1), i = 1, 2, 3 \quad (4)$$

Denklem (1) kullanılarak ters kinematik model, denklem (5) ile elde edilir.

$$q_i = z + \sqrt{L^2 - (x - (R_b - R_n) \cos \alpha_i)^2 - (y - (R_b - R_n) \sin \alpha_i)^2} \quad (5)$$

Lineer delta robotun ileri kinematik modeli oluşturmak için denklem (6)’daki X, Y ve Z değerlerinin bulunması ile çözülmektedir.

$$\begin{cases} Fz^2 + 2Gz + H = 0 \\ y = Az + B \\ x = Cz + D \end{cases} \quad (6)$$

Burada;

$$z_{1,2} = \frac{-2G \pm \sqrt{4G^2 - 4FH}}{2F} \quad (7)$$

$z = \min(z_1, z_2)$ kabul edildiğinde;

$$A = \frac{(q_2 - q_3)}{\sqrt{3}(R_b - R_n)} \quad (8)$$

$$B = \frac{q_3^2 - q_2^2}{2\sqrt{3}(R_n - R_b)} \quad (9)$$

$$C = \frac{2(q_2 - q_1) - A(R_n - R_b)\sqrt{3}}{3(R_b - R_n)} \quad (10)$$

$$D = \frac{q_1^2 - q_2^2 - B\sqrt{3}(R_n - R_b)}{3(R_b - R_n)} \quad (11)$$

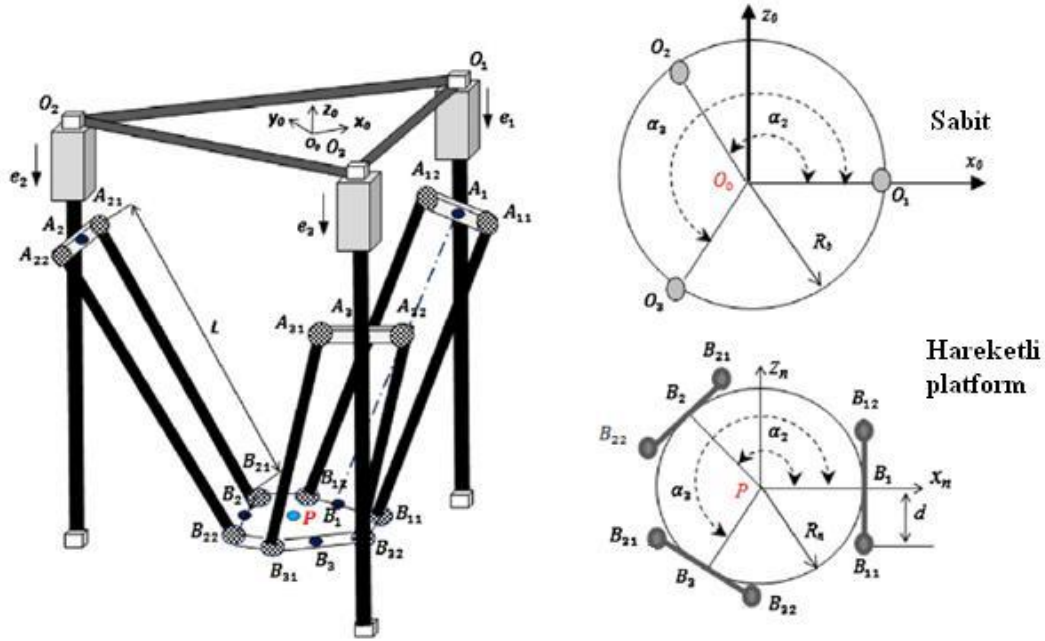
$$E = (R_n - R_b) + B \quad (12)$$

$$F = A^2 + C^2 + 1 \quad (13)$$

$$G = AE + CD - q_1 \quad (14)$$

$$H = E^2 + D^2 + q_1^2 - L^2 \quad (15)$$

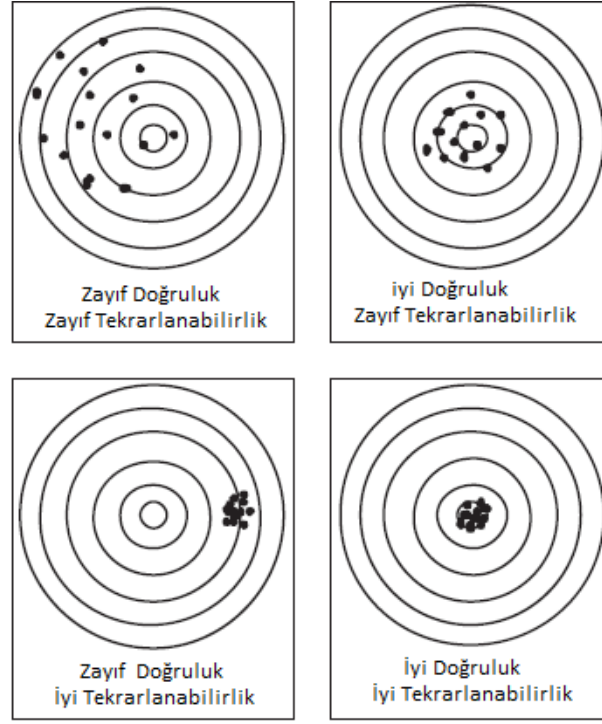
Yukarıdaki denklemleri, denklem (6)'ya uygulayarak lineer delta robot için ileri kinematik model formüle edilmiş olacaktır.



Şekil 2. Lineer delta robotun geometrik tanımlaması [18].

C. LİNEER DELTA ROBOTUN DOĞRULUĞU VE TEKRARLANABİLİRLİĞİ

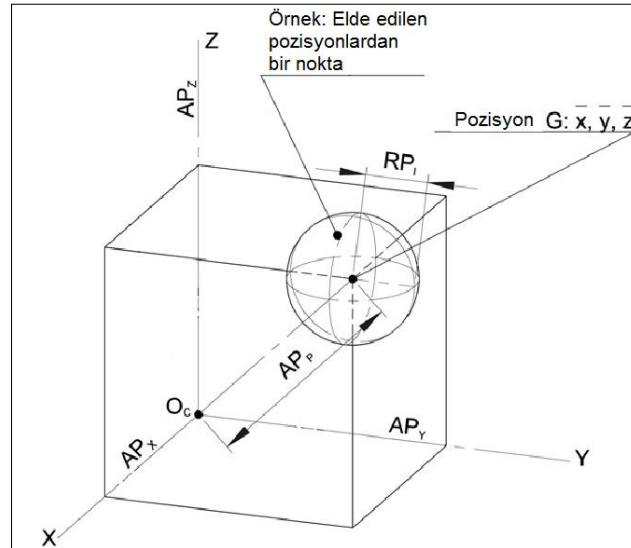
Doğruluk ve tekrarlanabilirlik robotun pozisyon performansı ile ilgili parametrelerdir. Doğruluk 3 boyutlu uzayda istenen bir pozisyona hareket etme yeteneği olarak tanımlanır. Tekrarlanabilirlik ise aynı pozisyon ve yönelime tekrarlı olarak robotun gidip gelme hareket yeteneğinin ölçümüdür. Bu parametreler Şekil 3'de verilmektedir [20].



Şekil 3. Doğruluk ve tekrarlanabilirlik

Robot üreticileri, ürettikleri her robotun özelliklerini bir standarda göre belirlemektedir. Bu özellikler ISO 9283 standardına göre gerçekleştirilmektedir [24]. ISO 9283 göre poz doğruluğu, aynı yönde gönderilen pozlardan elde edilen ortalama poz ile gönderilen poz arasındaki sapma olarak tanımlanmaktadır [15]. Bu şu şekilde ifade edilir;

Pozisyon Doğruluğu (APP): Elde edilen pozisyonun ağırlık merkezi ile gönderilen pozun pozisyonu arasındaki farktır (Şekil 4).



Şekil 4. Pozisyon doğruluğu ve pozisyon tekrarlanabilirliği

Poz tekrarlanabilirliği: Aynı yönde gönderilen aynı pozların n tekrarlı olarak gidip gelmesi ile elde edilen pozlar arasındaki uyumun yakınlığı olarak ifade edilmektedir.

Yarıçap (RP1) : Merkezi, ağırlık merkezi olan kürenin yarıçapı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4).

Aynı pozun n defa tekrarlanmasından sonra elde edilen noktalar kümesinin ağırlık merkezinin koordinatları \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} , gönderilen pozun koordinatları x_c , y_c , z_c , elde edilen j.'ninci pozun koordinatları x_j , y_j , z_j olarak kabul edilmiştir. Sonra denklem (16)'e göre pozisyon doğruluğu AP_p hesaplanmaktadır.

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad (16)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad (17)$$

Denklem (17)'de \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} koordinatları, n defa tekrarlanan pozun koordinatları olan x_j , y_j , z_j değerlerinin toplamının ortalaması ifade etmektedir. Pozisyon tekrarlanabilirliği RP_1 ise denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

$$RP_1 = \bar{l} + 3S_l \quad (18)$$

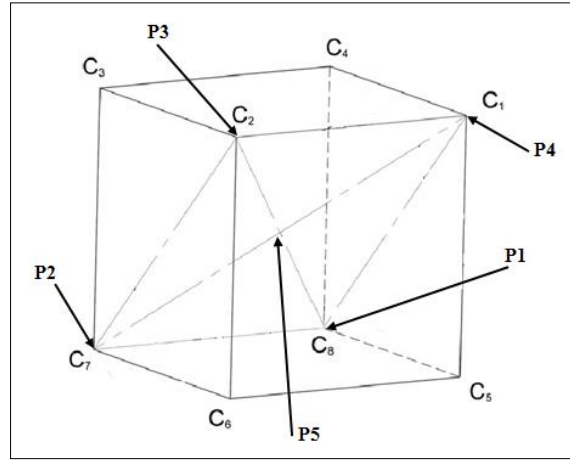
$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j, l_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2 + (z_j - \bar{z})^2}, S_l = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(l_j - \bar{l})^2}{n-1}} \quad (19)$$

III. ROBOTUN PERFORMANSI

Robotun doğruluk ve tekrarlanabilirlik performansını ölçebilmek için Microscribe G2X koordinat ölçme cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0,23 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir (Şekil 5). ISO 9283 standardına göre çalışma uzayına yerleştirilen bir küpün eğik düzlemi içinde test edilen noktaların olması gerekmektedir [15]. Küpün bir kenarı 100 mm olarak belirlenmiştir. 5 ölçüm noktası P1-P5 ölçüm düzleminin köşegenlerine yerleştirilmiştir. P5 noktası küpün merkezi ve köşegenlerin kesişimidir. P1-P4 noktaları köşegenler üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Microscribe G2X koordinat alma cihazı ve sisteme montajı



Şekil 6. Küpün eğik ölçüm düzlemindeki P1-P5 pozları

Belirlenen 5 noktanın koordinatları Tablo 1’de verilmektedir. Bu koordinatlar robotun merkez noktasına göre alınmıştır.

Tablo 1. P1-P5 noktaları

Robotun merkezi için pozlar	Pozisyon (mm)		
	X	Y	Z
P1	0	0	0
P2	-100	0	0
P3	-100	100	100
P4	0	100	100
P5	-50	50	50

Tüm programlanan pozlar, P1 noktasından başlayarak lineer olarak poz poz yolları takip etmektedir. Her poz işleminde koordinat ölçme aleti noktaların koordinatları olarak kaydeder. Bu işlem 30 defa tekrarlanarak devam ettirilmiştir. Tablo 2’de doğruluk ve tekrarlanabilirlik değerleri verilmektedir.

Tablo 2. P1-P5 noktaları için ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik

ISO 9283'e göre P1-P5 Noktaları için	Pozisyon (mm)	Tekrar sayısı
Ortalama Doğruluk	1,25	30
Ortalama Tekrarlanabilirlik	1.45	30

Tablo 2'de ISO 9283 standardına göre yapılan testlerde robotun ortalama doğruluğu 1,25 mm ve ortalama tekrarlanabilirliği ise 1,45 mm bulunmaktadır. Sonuç olarak yapılan testler açık çevrim kontrol metoduyla yapıldığı için literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir [15, 16].

IV. SONUÇ

Robotların işlemleri hassas yapabilmesi için doğruluk ve tekrarlanabilirlik performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada paralel kinematik mekanizmaların delta grubundan olan lineer delta robotun tasarım ve prototipi yapılarak ortalama doğruluk ve tekrarlanabilirlik performansı belirlenmiştir. Performans testleri ISO 9283 standardına göre yapılmış ve 30 tekrarlı olan veriler alınmıştır. Testler açık çevrim kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Lineer delta robotun performans testlerinin sonuçlarında; ortalama doğruluk 1,25 mm, ortalama tekrarlanabilirlik ise 1,45 mm olarak bulunmuştur. Kullanılan koordinat ölçme aletinin hassasiyeti 0,23 mm olduğunda dolayı testlerde buna paralel olarak ortalama değerler bulunmuştur. Prototipi yapılan lineer delta robot, otomasyon sektöründeki konveyör bantlarda kırılğan olmayan ürünleri paketleme, al ve yerleştir işlemlerinde kullanılabilir kapasitede olup ihtiyaçlara yönelik diğer sektörlerle adapte edilebilecek yapıdadır. Aynı zamanda ahşap, kestimid ve polyamid gibi malzemelerin işlenmesinde de kullanılabilir. Gelecek çalışmalarda lineer delta robot performans testlerinin görüntü işleme, lazer ölçü aleti gibi farklı metotlar ile araştırılması hedeflenmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. Ku, "Direct displacement analysis of a stewart platform mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 34, no. 3, pp. 453-465, 1999.
- [2] H. Alp, "Sezgisel yöntemlerle paralel mekanizmaların çalışma uzayı analizi," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [3] M. Weck and D. Staimer, "Parallel kinematic machine tools – current state and future potentials," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 51, no. 2, pp. 671-683, 2002.
- [4] X. Hu, "Design and analysis of a three degrees of freedom parallel kinematic machine," M. Sc. Thesis, The Faculty of Engineering and Applied Science Mechanical Engineering Program University of Ontario Institute of Technology, North Oshawa, 2008.
- [5] S. Yiğit, "Paralel manipülatörlerin uzaysal vektör cebri yöntemiyle kinematik modellenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.

- [6] Y. Karabulut, "Dokunmatik ekranlı cihazlar için görüntü işlemeye dayalı robotik test otomasyon sistemi geliştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2016.
- [7] C. He, K. Olds, I. Iordachita and R. Taylor, "A new ENT microsurgery robot: error analysis and implementation," IEEE International Conference on Robotics and Automation, Germany, 2013, pp. 1221-1227.
- [8] Y. Meng and Z. Zhuang, "Self-calibration of camera-equipped robot manipulators," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 20, no. 11, pp. 909-921, 2001.
- [9] M.R. Driels, L.W. Swayze and L.S. Potter, "Full-pose calibration of a robot manipulator using a coordinate-measuring machine," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 34-44, 1993.
- [10] C. Lightcap, S. Hamner, T. Schmitz and S. Banks, "Improved positioning accuracy of the PA10-6CE robot with geometric and flexibility calibration," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, no. 2, pp. 452-456, 2008.
- [11] A. Nubiola, "Calibration of a serial robot using a laser tracker," PhD Thesis, École De Technologie Supérieure, Canada, 2011.
- [12] M. Slamani, A. Joubair and I.A. Bonev, "A comparative evaluation of three industrial robots using three reference measuring techniques," *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 42, no. 6, pp. 572-585, 2015.
- [13] J. Semjon, M. Sukop, M. Vagas, R. Janos, P. Tuleja, L. Koukolova and J. Varga, "Comparison of the delta robot ABB IRB 360 properties after collisions," *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, vol. 20, no.1, pp. 42-46, 2018.
- [14] A. Traslosheros, J. Sebastián, J. Torrijos, R. Carelli and E. Castillo, "An inexpensive method for kinematic calibration of a parallel robot by using one hand-held camera as main sensor," *Sensors*, vol. 13, no. 8, pp. 9941-9965, 2013.
- [15] G. Mosqueira, J. Apetz, K.M. Santos, E. Villani, R. Suterio and L.G. Trabasso, "Analysis of the indoor GPS system as feedback for the robotic alignment of fuselages using laser radar measurements as comparison," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 28, pp. 700-709, 2012.
- [16] M. Ayyıldız, "Esnek üretim sisteminde zeki yükleme ve depolama otomasyonu," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2016.
- [17] E. Aşkar Ayyıldız, "Nümerik Kontrollü Çoklu Paralel Kinematik Mekanizmalar İçin Algoritma Geliştirme," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2017.
- [18] R. Kelaiaia, O. Company and A. Zaatri, "Multiobjective optimization of a linear Delta parallel robot," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 50, pp. 159-178, 2012.
- [19] X. Liu, J. Wang, K. Oh and J. Kim, "A new approach to the design of a delta robot with a desired workspace," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 39, pp. 209-225, 2004.

- [20] Righettini P., Tasora A. and Giberti H., “Mechatronic design of a 3-DOF parallel translational manipulator”, RAAD 11th workshop on robotics in alpe-adria-danube region, Hungary, 2002, pp. 1-6.
- [21] F. Xie, X. Liu and J. Wang, “Conceptual design and optimization of a 3-DoF parallel mechanism for a turbine blade grinding machine,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 230, no. 3, pp. 406-413, 2016.
- [22] O. Company and F. Pierrot, “Modelling and design issues of a 3-axis parallel machine-tool,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 37, pp. 1325–1345, 2002.
- [23] E. Aşkar Ayyıldız and M. Ayyıldız, “Development of a 3-axis parallel kinematic machine for milling wood material–Part 1: Design,” *BioResources*, vol. 12, no. 4, pp. 9326-9337, 2017.
- [24] [1] P.S. Shiakolas, K.L. Conrad and T.C. Yih, “On the accuracy, repeatability, and degree of influence of kinematics parameters for industrial robots,” *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 22, no. 3, pp. 1-10, 2002.