

CNC Freze Makinalarında İş Parçasının Talaş Derinliğindeki Değişimin İnterferometrik Temassız Ölçümü

Muammer ZENGİN¹, H. Selçuk VAROL²

*1 Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği
2 Doğuş Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği*

ÖZET

İmalat metrolojisinde ışık kaynağı kullanılarak yapılan ölçümlerde mekanik değerlerin elektronik değerlere çevrilerek bilgisayara aktarılması işlemi üreticiye birçok kolaylık sağlamaktadır. Bunun nedeni ise ışık kaynağı kullanılarak yapılan ölçüm sistemlerinin hem temassız olması hem de yüksek hassasiyette olması ve anında bilgisayar tarafından işlenebilmesidir. Ayrıca fiziksel olarak ölçüm alınması zor olan iş parçalarının da ölçümü için büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, talaşlı üretim endüstrisinde büyük bir yer tutan freze tezgâhlarında düzlem yüzey frezeleme işlemi sırasında talaş derinliğindeki değişim değerini Michelson interferometresi esaslı ölçüm düzeneği ile ölçen bir sistem gerçekleştirilmiştir. Michelson interferometresi ile elde edilen saçakları saymak amacıyla bir elektronik saçak sayıcı devresi tasarlanmıştır. Freze makinasının kontrolünü sağlayan SimCNC yazılımı ile sisteme girilen talaş derinliği değeri, işlem sonucunda lazer ölçüm sisteminin elde ettiği ölçüm değeri ile karşılaştırılıp aralarındaki %7'lik farklar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Freze tezgâhları, Michelson İnterferometresi, Temassız ölçüm

Interferometric Non-Contact Measurement of the Change in Cutting Depth of the Workpiece on CNC Milling Machines

ABSTRACT

With respect to measurements made by use of light source in the manufacturing metrology, the conversion of the mechanical values to the electronic ones and then transfer of the results to PC provides a number of advantages for the manufacturer. The reason is that the measurement systems with use of light source are both non-contact and high precise, making instant processing by the computer. Furthermore, it also provides great convenience for measurement of the workpieces, which are physically hard to measure. This study concerns a system to measure the changing value in the cutting depth on basis of Michelson interferometry measuring mechanism during the milling of plane surfaces on the milling machines, which take an important place in the machining industry. An electronic fringe counter is designed in order to count the fringe obtained by the Michelson interferometry. The cutting depth value entered in the system by use of Sim CNC, which controls the milling machine and the measurement value obtained by the laser measurement system as a result of the process were compared and the differences of 7% between them were interpreted.

Keywords: Milling machines, Michelson Interferometry, Non-contact measurement

I. GİRİŞ

Talaşlı imalat metrolojisinde kullanılan ölçüm yöntemlerinin yetersizliği ışık kaynağı kullanılarak yapılan ölçüm yöntemlerine ihtiyacı artırmıştır. Mekanik yapısı zor olan parçalarda ve ulaşılması imkânsız olan yerlerde temassız bir ölçüm alınabilmesi ışık kaynaklı ölçüm sistemlerinin en büyük avantajlarıdır. Günümüzde gelişen ileri teknoloji ile birlikte mekanik ölçüm yöntemleri artık yerini elektronik ölçüm yöntemlerine bırakmaya başlamıştır. Bu değişim sürecinde birçok elektronik ölçüm metodu geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlardan en önemli olanları ise lazer kullanılarak yapılan ölçüm yöntemleridir. Tek dalga boyunda ve farklı güçlerde elde edilebilmesi lazeri optik ölçüm sistemleri için popüler hale getirmiştir[1,2]. Bu çalışmada talaşlı imalat olan frezeleme işleminde yapılan ölçümler için interferometrik bir sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Freze takım tezgâhları talaşlı üretim endüstrisinde büyük bir öneme sahiptir. Bu yöntemde, birden fazla eksen kullanımı mümkün olduğu için basit ve karmaşık yüzeylerin işlenmesinde kolaylık sağlar. Freze tezgâhında talaş kaldırma süresince meydana gelen titreşim ve yüzey pürüzlülüğü bu işleme etki eden en önemli faktörlerdir. İşlem esnasında iş parçasına etki eden kesme kuvvetleri aşınma, tezgâh yapısı, iş parçasının türüne bağlı olarak değişir. Bu da sistemde sürekli bir titreşime neden olur. Sistemde meydana gelen bu titreşim yüzey pürüzlülüğünü de büyük bir ölçüde etkilemektedir. Yaptığımız bu çalışmada titreşimin minimize edilmesi içinde bir tasarım yapılmıştır. Freze tezgâhlarında çeşitli işlemlere tabi tutulan bir iş parçasının bazı aşamalar sonucunda istenilen ölçüme ne kadar yaklaştığını saptayabilmek için ara ölçümler alınır. İşlem esnasında tüm işlemi durdurup alınan bu ara ölçümler sonucunda işlenen parçanın istenen ölçüme ne kadar yaklaştığı ölçülür, eğer istenilen ölçümü sağlıyor ise işlem sonlandırılır. İşlem sırası boyunca birkaç defa ara ölçüm almak gerekmektedir. Her alınan ara ölçüm için sistem durdurulup işlenen iş parçası makinadan sökülüp mekanik ölçü aletleri kumpas ya da elektronik kumpas ile parçadaki değişim miktarı ölçülür ve istenilen ölçüme ne kadar yakın olduğu belirlenir. Uygulanan bu ölçüm metodu hem zaman kaybına yol açmakta hem de yüksek hassasiyette ölçüm vermemektedir. Freze tezgâhlarında işleme tabi tutulan bir iş parçasının hem zaman kaybetmeden hem de daha yüksek hassasiyetle ölçülebilmesi büyük avantajlar sağlayacaktır. Bu çalışmada freze tezgâhlarında düzlem yüzey frezeleme işleminde talaş derinliğindeki değişimin temassız bir şekilde ölçülebilmesi için interferometrik bir sistem geliştirilmesi esasına dayanmaktadır. Üzerinde çalışılan bu lazerli temassız ölçüm yöntemi, işleme tabi tutulan iş parçasının herhangi bir temas gerektirmeden kalınlığındaki değişimi ışık dalga boyu hassasiyetinde ölçme imkânı sağlamaktadır. Kumpas

vb. ölçüm aletlerine gerek kalmadan ve iş parçasını makinadan çıkartmadan hatta işlemi durdurmadan parça işleme aşamasındayken her işlem sonucunda ölçüm alabilme imkânı sağlamaktadır. Bu da işlenen parçaların hammaddelerinin pahalı olması nedeni ile işlenen parçanın yanlış bir ölçüm durumunda kullanılmaz hale gelmesinin önüne geçecektir.

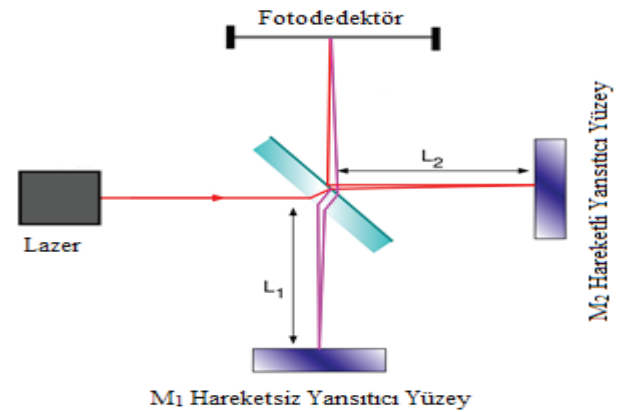
II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Frezeleme Yöntemi ile Talaş Kaldırma

Kesici bir takım yardımıyla iş parçası üzerinden, istenilen ölçü ve toleranslara uygun olarak fazla kısımlarının ana parçadan ayırma işlemine talaş kaldırma denir. Frezeleme işlemi, üzerinde kesici uçlar bulunan kesici takımın kendi eksen etrafında dönmesi ile iş parçasının bağlı olduğu tablanın x, y, z eksenleri yönlerinde hareket etmesi ile iş parçaları üzerinden talaş kaldırılmasıdır[3,4]. Frezeleme yöntemi ile talaş kaldırma olayını diğer talaşlı imalat yöntemlerinden ayıran temel özellik aynı anda birden fazla kesici ağızla talaş kaldırılmasıdır. Buda frezeleme yönteminin verimliliğinin yüksekliğini gösterir. Frezeleme yöntemi, iş parçasında yapılacak olan imalatın şekline, biçimine ve kullanılan kesici takımın çeşidine göre sınıflandırılır. Bu çalışmada alın frezeleme yöntemi kullanılmıştır.

2.2 Michelson İnterferometresi

Şekil 1'de gösterilen sistem Albert Abraham Michelson tarafından geliştirilen girişimölçeridir. Bu sistem ışık demetini iki kısma ayırır ve bu kısımları birleştirerek bir girişim deseni oluşturur. Desendeki şiddet dağılımı demetin iki parçası arasındaki noktadan noktaya yol farkının karakteristiğidir. Böylece, eğer yol uzunluklarının biri değişir ise saçak deseni ekran üzerinde hareket edecek ve yol uzunluklarındaki fark, saçak kayması cinsinden ölçülebilecektir. Bu yöntem hassas mesafe değişimlerinin ölçülmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 1. Michelson Girişimölçeri

Şekil 1’de gösterilen girişimölçerde, lazer kaynağından çıkan ışın demeti ışın bölücü tarafından aynı şiddete sahip iki ışına ayrıldıktan sonra, hareketsiz yansıtıcı yüzey M_1 ve hareketli yansıtıcı yüzey M_2 tarafından yansıtılarak fotodedektör üzerinde giriştirilir. İki dalga birleştiğinde dalgalar aynı fazda ise birbirleri üzerine eklenir ve aydınlık saçak meydana getirirler. Dalgaların fazları farklı ise birbirlerini yok ederler. Yol farkı dalga boyunun tam katları ise yapıcı (aydınlık) girişim, dalga boyunun yarım katları ise yıkıcı (karanlık) girişim elde edilecektir.

İki ışık demetinin girişimi neticesinde fotodedektör üzerinde elde edilen dalganın elektrik alanı,

$$E = \frac{E_0}{2} \sin(\omega t - k2l_2) + \frac{E_0}{2} \sin(\omega t - k2l_1) \quad (\text{II.1})$$

şeklinde olacaktır. Bu ifadeyi basitleştirmek için,

$$\sin A + \sin B = 2 \sin\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right) \quad (\text{II.2})$$

özdeşliği kullanılır. Girişim neticesi sonucu oluşan elektrik alanı,

$$E = E_0 \cos(k(l_2 - l_1)) \sin(\omega t - k(l_2 + l_1)) \quad (\text{II.3})$$

şeklinde yazılabilir.

Bir dalganın şiddeti elektrik alanının karesi ile orantılı olduğundan ışık şiddeti,

$$I \propto E^2 = E_0^2 \cos^2(k(l_2 - l_1)) \sin^2(\omega t - k(l_2 + l_1)) \quad (\text{II.4})$$

olarak ifade edilebilir.

Fotodedektör zamana bağlı ortalama ışık şiddeti ölçtüğünden ve $\sin^2(\omega t - k(l_2 - l_1))$ ’in periyot üzerinden ortalama değeri $\frac{1}{2}$ ve dalga sayısı $k = 2\pi/\lambda$ olduğundan fotodedektör tarafından ölçülen ışık şiddeti,

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda}(l_2 - l_1)\right) \quad (\text{II.5})$$

şeklinde olacaktır.

$$\frac{2\pi}{\lambda}(l_2 - l_1) = N\pi \text{ olduğunda aydınlık (II.6)}$$

$\frac{2\pi}{\lambda}(l_2 - l_1) = (N + 1/2)\pi$ olduğunda da karanlıklar saçak oluşur. (II.7)

Burada $N = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, fotodedektör üzerinden geçen aydınlık ve karanlık saçakların sayısıdır. Yol farkı $\Delta x = l_2 - l_1$ şeklinde yazılır ise fotodedektör önünden akan aydınlık saçak sayısı

$$N = \frac{2\Delta x}{\lambda} \quad (\text{II.8})$$

olup bir sayma devresi ile fotodedektör önünden geçen aydınlık saçaklar sayıldığında Δx yer değiştirmesi,

$$\Delta x = \frac{N\lambda}{2} \quad (\text{II.9})$$

şeklinde hesaplanabilir. N uygun bir sistemle saydırıldığında ve lazer ışınının dalga boyu bilindiğinde talaş derinliğindeki değişim ölçülebilecektir[5,6,7].

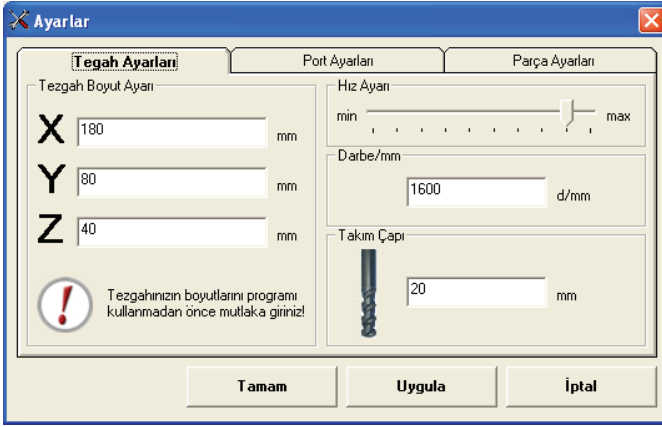
2.3 Deney Düzenegi

Yapılan bu çalışmada freze tezgâhlarında düzlem yüzey frezeleme işlemi sırasında talaş derinliğindeki değişimin Michelson interferometresi esaslı bir sistem geliştirilerek ölçülmesi için bir deney düzenegi tasarlanması amaçlanmıştır. Tasarlanan deney düzeneginde Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Kontrol Laboratuvarında mevcut halde bulunan freze makinası kullanılmıştır. Kullanılan Terco marka makine dik işleme (freze) özelliğine sahip bir NC takım tezgâhıdır. Tezgâhın imal tarihi 1970’li yılların sonlarına denk gelmektedir. 3 eksenli dik işleme özelliğine sahip olan Terco yüzey işleme tezgâhının ürün işleme hacmi ise 576000mm³ (X x Y x Z – 180 mm x 80 mm x 40 mm)’tür. Deney malzemesi olarak ise endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılan olan AISI 303 östenik paslanmaz çelik numuneler kullanılmıştır. Malzemelerin boyutları konusunda belirli bir standart da sabit kalınmamış farklı boyutlarda malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan numunenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan deney malzemesinin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık)

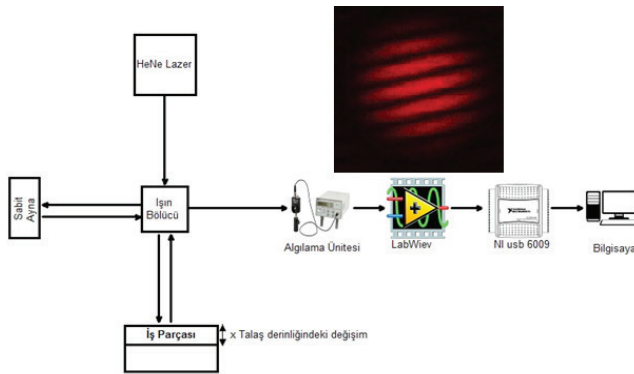
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Mo
0.085	2	0.5-1	18-20	8-10.5	0.027	0.225	0.25
Al	Cu	Nb	Ti	V	W	Fe	Co
0.008	0.12	0.002	0.001	0.045	0.005	61.7	0.065

Kullanılan kontrol programından (SimCNC) Tezgâh Ayarları arayüzünde tezgâhın, boyut, hız, darbe/mm ve takım çapı bilgileri girilerek frezeleme işlemi yapılmıştır. Tezgâh ayarları arayüzünde bulunan bölümler Şekil 2’de gösterilmiştir.



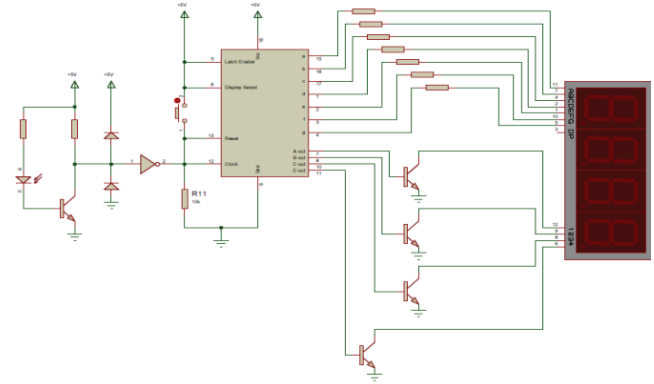
Şekil 2. Tezgâh Ayarları Arayüzü

Lazer kaynağı olarak da 632,8 nm dalga boyunda, 5mw gücünde polarize Helyum-Neon lazer kullanılmıştır. HeNe lazerden çıkan ışın çapı ince kenarlı bir mercek yardımı ile odaklanarak ışın bölücü üzerine düşürülür. Işın bölücü tarafından iki eş parçaya ayrılan ışınlardan bir tanesi sabit aynaya yönlendirilirken diğer ışın ise ölçümü alınacak iş parçasının üzerine yönlendirilir. Sabit ayna ve iş parçası üzerinden geri yansıyan ışınlar ışın bölücü üzerinde birleşerek bir girişim deseni oluşturur. Burada ışın bölücü ışınları birleştirme işlemini de üstlenmiş olur. Birleşen bu ışınların oluşturduğu girişim deseni fotodetektör üzerine düşürülerek algılanır. Şekil 3’de elde edilen girişim deseni ve deney düzeneği görülmektedir. Ancak oluşan bu girişim deseni çıplak gözle görülebilmesi için genişletme işlevini görecek bir mercek ve titreşim giderici sünger ve kauçuk kullanılmıştır. Deney düzeneğinin belirli bölgelerine yerleştirilen titreşim önleyici sünger ve kauçuklar ile titreşim önlenerek daha sağlıklı görüntü almak mümkün olmuştur.



Şekil 3. Tasarlanan Deney Düzeneği

Fotodetektör tarafından algılanan elektriksel sinyal işlemsel kuvvetlendiriciden geçtikten sonra 74C14 Schmitt Trigger entegresi kullanılarak 0-5 V dijital sinyale çevrilmiştir. Üretilmiş olan 0-5 V sinyali sayabilmek için de 74C926 sayıcı entegresi kullanılmıştır. 74C926 sayıcı entegresinden çıkan 16 bitlik ikili düzendeki sayılar 4 dijital gösterge ekranına aktarılmıştır. Ayrıca sayıcı entegresinden elde edilen sayılar bilgisayara aktarılıp işlem yapabilmek amacıyla NI USB 6009 veri toplama kartı ile bağlantılandırılmıştır. Kullanılan veri toplama kartı ile elde edilen sayıcı değeri bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu verileri işleyebilmek için Labview programı kullanılmıştır. Labview programında tasarlanan talaş derinliğindeki değişimi hesaplama ara yüzü sayıcıdan veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılan verileri kullanarak VI.1 nolu formül vasıtasıyla talaş derinliğindeki değişim hesaplanmıştır. Şekil 4’de bu deney düzeneği için tasarlanan elektronik sayıcı devresinin şeması görülmektedir[8].



Şekil 4. Elektronik Sayıcı Devresi

III. SONUÇ

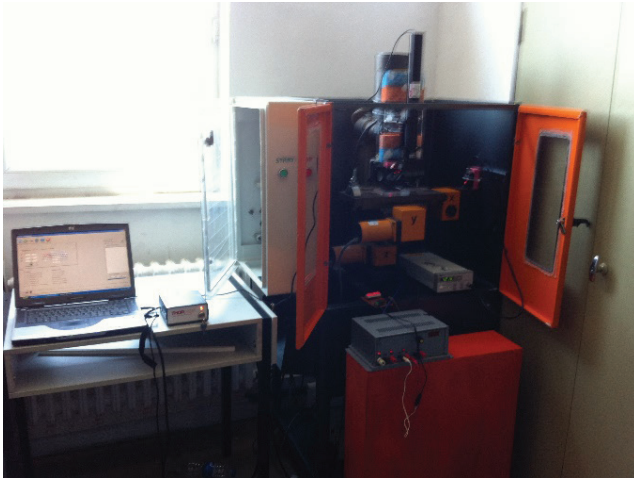
Talaşlı üretim endüstrisinin en önemli öğelerinden biri olan frezeleme işlemlerinde kullanılan mevcut ölçüm yöntemlerine alternatif olacak olan bu ölçüm sistemi diğer ölçüm yöntemlerine oranla daha hassas bir sonuç ortaya koymaktadır. Mevcut ölçüm yöntemlerinin yetersiz kaldığı yerlerde daha kullanışlı ve hassas bir ölçüm sistemi geliştirmek amaçlı tasarlanan bu sistemin ana dayanağı Michelson interferometresi’dir. Bu yöntem ile tasarlanan deney düzeneğinde, işleme tabi tutulacak olan iş parçasına freze makinasının kontrol yazılımı tarafından verilen talaş derinliğinden sonra metal plakada meydana gelen incelleme oluşan saçak demetinin hareket etmesini sağlamıştır. Bu hareket kullanılarak saçaklar elektronik olarak sayılmış ve verilen talaş derinliğindeki değişim ışık dalga boyu hassasiyetinde ölçülmüştür.

Tablo-2 incelendiğinde freze makinasını kontrol eden SimCNC yazılımı kullanılarak verilen talaş derinliği ile lazer ölçüm sisteminin elde ettiği veriler görülmektedir.

Tablo 2. Deney Ölçüm Değerleri ve SimCNC Yazılım Değerleri

Talaş Derinliği SimCNC (mm)	Lazer Ölçüm Sistemi (mm)
0,3	0,2958
0,4	0,3534
0,5	0,4508
0,6	0,5627

SimCNC yazılımı Microsoft Visual Basic görsel programlama dilinde oluşturulan CNC tezgâhının işleyişi ve kumanda edilmesi amacıyla tasarlanmış bir kontrol yazılımıdır[9]. Kullandığımız freze tezgâhı bu yazılım ile kontrolü yapılmıştır. SimCNC yazılımına 4 adet talaş derinliği değeri girilerek malzemeden talaş kaldırılmıştır. Lazer ölçüm sistemi ile elde edilen neticeler SimCNC yazılımına verilen talaş derinliği neticeleri ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan SimCNC tarafından verilen değerlere oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Bu noktada meydana gelen hataların en önemli ve başlıca sebepleri titreşim ve yüzey pürüzlülüğü olmuştur[10]. Yapılan kalibrasyon ile sisteme son şekli verilmiştir. Tasarlanan lazer ölçüm sistemi Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. CNC Tezgâhına Monte Edilmiş Lazer Ölçüm Sistemi

Talaş derinliğindeki değişimi hesaplayabilmek için III.1 nolu formül kullanılmıştır.

$$x_{ölçülen} = N \frac{\lambda}{2} \quad (III.1)$$

Alınan ölçüm sonuçları ile SimCNC yazılımı sonuçlar kıyaslanarak ölçüme yapılan hata oranları mutlak hata eşitliği ile %7,2 olarak bulunmuştur.

$$\Delta X = X_{ölçülen} - X_{simCNC} \quad (III.2)$$

$$\beta = \frac{X_{ölçülen} - X_{simCNC}}{X_{simCNC}} \quad (III.3)$$

IV. DEĞERLENDİRME

Freze makinalarında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişimin ölçülmesine bir alternatif oluşturacak olan bu çalışmanın ana dayanağı Michelson girişimölçeridir. Gerçekleştirilen bu sistemde Michelson interferometresi kullanılarak freze makinalarında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişim ölçülmektedir. İnterferometrik ölçüm yönteminin sağladığı yüksek hassasiyette sonuç elde edebilme imkânında bazı olumsuzlukları da ortaya çıkarmaktadır. Bu olumsuzluklar titreşim ve yüzey pürüzlülüğüdür, elde edilen girişim deseninde dış etkenlere bağlı titreşimlerin oluşması oluşturulan ölçme sistemine büyük oranda etki etmektedir. Ortaya çıkan bu durumlar kullanılan yöntemlerle ile minimuma indirilmiştir. Dış etkenlere bağlı titreşimi ve titreşimin etkilediği yüzey pürüzlülüğünü en aza indirebilmek için, freze makinasının yer ile temas eden plastik ayaklar bagalit ayaklar ile değiştirilmiş ve sistemin belirli noktalarına titreşim sönmüleyici kauçuk-sünger karışımı dolgular yapılmıştır. Yapılan bu işlemler sonucunda titreşim büyük oranda azaltılmış ve girişim desen görüntüsü çıplak gözle net bir şekilde görünmüştür. Fotodetektör tarafından kolayca algılanan girişim deseni sonucu saçak sayma işlemi geliştirilen elektronik saçak sayma sistemi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Alınan yukarıdaki önlemler neticesinde SimCNC yazılımı ile sisteme girilen talaş derinliği değerleri ve lazer sistemi ile elde edilen ölçüm değeri arasında %7’lik bir fark oluşmuştur. Bu da lazer ölçüm sisteminin CNC tezgâhlarında talaş derinliği değişiminin temassız ölçümünde bir alternatif olarak kullanılabileceği neticesini vermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma FEN-C-YLP-141014-0350 numaralı Marmara Üniversitesi BABKO Lisansüstü Tez projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Yandayan, T. İmalat Metrolojisinde Lazer Kullanarak Yapılan Ölçme Teknikleri, 2. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi, 23-24 Ekim 1997, Eskişehir, Türkiye.
- [2] Gasvik, K. J. (2003). Optical metrology. John Wiley & Sons.
- [3] Akkurt, M. (2000). Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgâhları. Birsen Yayınevi.
- [4] İpekçioğlu, N. (1984). Frezecilik. Milli Eğitim Basımevi.
- [5] Serway, R. A., Beichner, R. J., Jewett, J. W., & Çolakoğlu, K. (2002). Fen ve mühendislik için fizik: Elektrik ve manyetizma-Işık ve optik. Palme Yayıncılık.
- [6] Guoxiong, Z. H. A. N. G. (2008). Development orientations of coordinate measuring techniques. Infrared and Laser Engineering.
- [7] Wilson, J., Hawkes, J. F. B., & Okur, İ. (2000). Optoelektronik. Değişim Yayınları.
- [8] Pastacı, H. (2000). Elektrik ve elektronik ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [9] Uyanık, A. S, ŞİMŞEK, AYTAN, İ. N, ONAT, M., & ERDAL, H. 3 Eksenli Yüzey İşleme Tezgâhının Bilgisayar ile Kontrolü (Computer Aided Control of 3-Axis Surface Processing Machine.
- [10] Ay, M. (2003). “CNC freze tezgahında frezeleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ve titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.