



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 24.07.2022  
Kabul Tarihi : 04.10.2022

Received Date : 24.07.2022  
Accepted Date : 04.10.2022

### SERBEST FORMLU İNCE CİDARLI AA 5083-H111 ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM HATASINA ETKİSİNİ ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME VE LAZER TARAMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

### COMPARISON WITH THREE-DIMENSIONAL COORDINATE MEASURING AND LASER SCANNING OF EFFECT OF FORM ERROR OF CUTTING PARAMETERS IN MILLING FREEFORM THIN-WALLED AA 5083-H111 ALLOY

Uğurcan ÇELİK<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-7434-4488)  
Barış ÖZLÜ<sup>2\*</sup> (ORCID: 0000-0002-8594-1234)  
Halil DEMİR<sup>3</sup> (ORCID: 0000-0002-9802-083X)

<sup>1</sup>Plascam Plastik Otocam Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kalıp Tasarım Bölümü, Gebze/Kocaeli

<sup>2</sup>Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Aksaray

<sup>3</sup>Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Barış ÖZLÜ, barisozlu@aksaray.edu.tr

#### ÖZET

Bu çalışma, serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin form hatasına etkisi incelenmiştir. İşlenen parçaların form hataları üç boyutlu koordinat ölçme (CMM) ve lazer tarama (LS) cihazları ile ölçülerek CMM ve LT sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney tasarımı Taguchi L32 ortogonal dizini kullanılarak hazırlanmıştır. Deneyler kaplamasız karbür kesici takım kullanılarak kuru işleme şartlarında CNC dik işleme merkezinde yapıldı. CMM ve LT için form hatalarını etkileyen en önemli kesme parametrelerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Deney sonuçlarına göre, CMM ve LT için optimum kesme parametrelerinin 5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 160 m/dk kesme hızı (A2B1C3) olarak belirlenmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, CMM ve LT için form hataları üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %56,18 kesme hızı ve %68,06 ilerleme miktarı olmuştur. Ayrıca LT ölçüm sonuçları CMM ölçüm sonuçlarına göre ortalama %63 oranında daha yüksek çıktığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** AA 5083-H111, form hatası, koordinat ölçme cihazı, lazer tarama, Taguchi metodu.

#### ABSTRACT

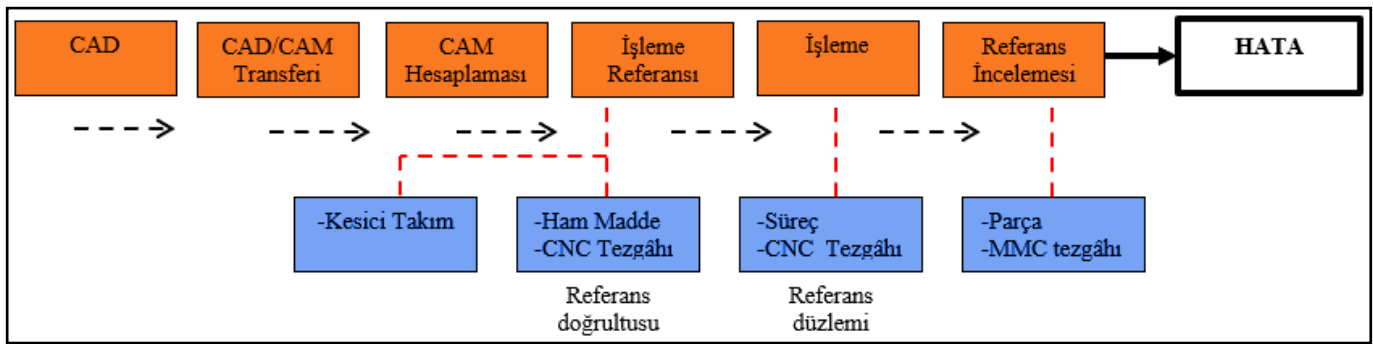
In this study, the effect of cutting parameters on form error in milling of free-form thin-walled AA 5083-H111 alloy was investigated. Form errors of machined parts were measured with three-dimensional coordinate measuring (CMM) and laser scanning (LS) devices, and CMM and LT results were compared. Experimental design was prepared using Taguchi L32 orthogonal array. The experiments were carried out in a CNC vertical machining center under dry machining conditions using an uncoated carbide cutting tool. Analysis of variance (ANOVA) was used to determine the most important cutting parameters affecting form errors for CMM and LT. According to the test results, optimum cutting parameters for CMM and LT were determined as 5 mm wall thickness, 0.05 mm/tooth feed rate and 160 m/min cutting speed (A2B1C3). According to the ANOVA results, the most effective cutting parameters on form errors for CMM and LT were 56.18% cutting speed and 68.06% feed rate, respectively. In addition, it was observed that the LT measurement results were 63% higher on average than the CMM measurement results.

ToCite: ÇELİK, U., ÖZLÜ, B., DEMİR, H., (2022). SERBEST FORMLU İNCE CİDARLI AA 5083-H111 ALAŞIMININ FREZELENMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN FORM HATASINA ETKİSİNİ ÜÇ BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇME VE LAZER TARAMA İLE KARŞILAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 633-642.

**Keywords:** AA 5083-H111, form error, coordinate measuring instrument, laser scanning, Taguchi method.

## GİRİŞ

Serbest biçimli işlenmiş yüzeyler, üç ana eksen boyunca değişen şekil ve boyutlara sahip karmaşık yüzeylerdir. Bu yüzeylerin öteleme simetrisi ve dönme eksenleri yoktur (Mali, Gupta & Ramkumar, 2021). İnce cidarlı bileşenlere sahip serbest biçimli geometrileri içeren ürünler, havacılık, otomotiv, kalıpcılık ve mücevher desen oymacılığına kadar basit ve ucuz ürünlerden yüksek karmaşık ve pahalı ürünlere kadar birçok alanda bulunmaktadır. Bu tür ince cidarlı serbest formlu parçaların işlenmesinde CAD/CAM/CNC/CAI/CMM/LS sistemleriyle entegre 4-5 eksenli dik işleme merkezi (freze) ile bu tür bileşenleri üretmenin ana yöntemidir. Özellikle serbest formlu ince cidarlı parçaların dik işleme merkezinde işlenmesi sonucu elde edilen form hataları CAD/CAM/CNC/CAI/CMM/LS sistemlerine ve işlemenin her adımına bağlıdır. Bu tür üretim sürecinde meydana gelebilecek olası form hatası nedenleri Şekil 1’de verilmiştir (Oliveira, Souza & Diniz, 2018).



Şekil 1. Üretim Zincirinde Olası Form Hatası Kaynağı (Oliveira et al., 2018).

Son yıllarda form hatalarını belirlemek ile birlikte geometrik kaliteyi sağlamak için bilgisayar destekli tolerans sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tolerans sistemleri ile form hatalarının verimli bir şekilde belirlenmesinde, karşılaştırılmasında, boyutsal ve geometrik sapmaları kontrol edilerek ideal olmayan özellikleri karşılaştırılan yöntemler tartışılmaktadır. Serbest biçimli yüzeylere sahip parçaların kontrolünde hem temaslı hem de temassız yöntemler tercih edilmektedir. Temaslı kontrollerde CMM, temassız kontrollerde ise LT teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler yapılan parça kontrollerinde yüzey verileri (parça özellikleri), yüzey konumu, parçaların karşılaştırılması ve ölçülen verilerin geometrik açıklaması gibi parça denetimi için çeşitli unsurları hakkında ayrıntılı bilgiler sunmaktadır (Yan & Ballu, 2019; Li & Gu, 2004).

Özellikle talaşlı imalat yöntemleri ile işlenen iş parçalarının kesme parametrelerine bağlı deformasyonları nedeni ile iş parçalarında meydana gelen nominal ölçülerdeki tutarsızlıklar oldukça yaygın bir sorundur. Bunun için ince cidarlı serbest biçimli geometrileri içeren parçaların işlenmesinde form hatalarının belirlenmesi üzerine hem akademi hem de endüstride yoğun araştırmaların yapıldığı görülmüştür. Literatürdeki ilgili çalışmalar aşağıda gözden geçirilmiştir. Oliveira et al., (2018), yaptıkları çalışmada ince cidarlı serbest formlu AISI H13 çeliğinin 4 eksenli frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve form hatalarına etkilerini değerlendirerek, yüzey pürüzlülüğü ve form hatası üzerine işleme yönünün, ilerleme miktarının ve kesme derinliğinin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Yaka, Demir & Gök (2017), yaptıkları çalışmada serbest formlu Al 7075-T6 malzemesinin frezelenmesinde minimum yüzey pürüzlülüğü elde etmek için optimum kesme parametrelerinin belirlenmesine odaklanarak, optimum yüzey pürüzlülüğünün 220 m/dk kesme hızı, 1100 mm/dk ilerleme miktarı, 0,5 mm yanal adım ve spiral işleme ile elde etmişlerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü üzerine en etkin kesme parametrelerinin sırası ile yanal adım, işleme şekli, ilerleme miktarı ve kesme hızının olduğunu bildirmişlerdir. Yaka, Demir, Gök & Akkuş (2018), Al 7075 serisinin serbest formlu yüzeylerin frezelenmesinde en düşük form hatasının elde edildiği en uygun kesme koşullarını belirlemeyi hedeflemişlerdir. Optimum form hatasının 140 m/dk kesme hızında, 800 mm/dk ilerleme miktarında, 0,5 mm yanal adımda ve paralel işleme şeklinde elde edileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca form hatası üzerine en etkin kesme parametrelerinin sırası ile yanal adım, kesme hızı, ilerleme miktarı ve işleme şeklinin olduğunu ifade etmişlerdir. Desai & Rao, (2012), çalışmalarında serbest biçimli geometrileri frezelerken yüzey hatasını anlamak, sınıflandırmak ve tahmin etmek için bir metodoloji sunmaktadır. İşleme sırasında kesici takım sapmalarından kaynaklanan işlenmiş yüzey hatalarının büyüklüğünü olası tüm kesme koşulları için kabul edilebilir bir doğrulukla tahmin etmişlerdir. Eğri geometrilerin işlenmesi sırasında yüzey hatasının aksenel doğrultudaki değişiminin takım

yolu boyunca düzgün olmadığı gözlemlenmiştir. Gök, Göloğlu & Demirci, (2014), dış bükey ve iç bükey yüzeylere sahip 2344 çeliğinin TiAlN kaplı parmak freze ile işlenmesinde takım sehimine bağlı form hatalarının incelenmesine odaklanmışlardır. Takım sehimine bağlı en büyük form hatasının dışbükey ve içbükey için sırası ile 45° ve 60° pozisyonlama açısında olduğu sonucuna varmışlardır. Form hatası meydana gelen yerlerde yapılan tarama ve dinamik ölçme sonuçlarının örtüştüğünü ifade etmişlerdir. Literatürde talaşlı imalat yöntemleri ile işlenen farklı malzemeler üzerinde form hatalarının belirlenmesi ve tahmini üzerine farklı çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Ancak serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının farklı kesme parametrelerinde frezelenmesinde meydana gelebilecek form hatalarının CMM ve LT ile ölçülerek tespiti ve ölçüm yöntemlerinin kıyaslanması üzerine literatürde hiç ya da çok az sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin form hatasına etkileri CMM ve LT ile ölçülerek tespiti ve ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklanılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada iş parçası olarak AA 5083-H111 alaşımı seçilmiştir. AA 5083-H111 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** AA 5083-H111 Alaşımının Kimyasal Kompozisyonu.

| Fe   | Si   | Cu   | Mn   | Mg   | Zn   | Cr   | Ti   | Al    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0,40 | 0,40 | 0,10 | 0,48 | 4,72 | 0,25 | 0,21 | 0,15 | Denge |

Deneyler için 110x310x55 mm boyutlarında serbest formlu ince cidarlı iş parçasının tasarımı Siemens NX CAD/CAM paket programında yapılmıştır. Tasarlanan parçaların CNC işleme merkezinde kesintisiz işleme koşullarını sağlayabilmek için aynı programın CAM kısmında takım yolu oluşturularak NC kodları çıkarılmıştır. Çıkarılan kodlar parçaların işleneceği 28 kW güce, iş mili maksimum 12000 dev/dak ve Siemens kontrol ünitesine sahip DMG MORI Ecomil 70 5 eksenli CNC işleme merkezine aktarılmıştır. Deneylerde dört ağızlı, 8 mm çapa sahip kaplamasız karbür parmak freze kullanılmıştır. Deneyler sonucu cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatasına etkileri CMM ve LT ile karşılaştırmak için ilk olarak form hataları DEA GLOBAL 12.22.10 marka CMM cihazı ve daha sonra FARO LT cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. CMM ve LT ölçümleri ayrı ayrı CAD dataları ile karşılaştırılarak her iki ölçüm için form hataları belirlenmiştir. Ayrıca her iki ölçümün sonuçları CAD datası ile karşılaştırılarak her iki ölçüm arasındaki farklar tespit edilmiştir. Şekil 2’de yapılan çalışma için deney kurulumu verilmiştir.

### Taguchi Metodu ile Deney Tasarımı

Taguchi tarafından geliştirilen yöntemle endüstriyel ürün tasarımını ve kalitesini büyük ölçüde iyileştirdiği kanıtlandığı için yaygın olarak uygulanmaktadır. Taguchi yöntemi deneysel düzeni formüle etmek, her kesme parametresinin işleme özellikleri üzerindeki etkisini analiz etmek ve her bir işleme parametresi için en uygun ilişkiyi tahmin etmek için kullanılır. Bu nedenle, bu çalışmada cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatasına etkisinin en düşük değerinin elde edildiği optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemini kullanılmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı en düşük form hatasının elde edilmesi istendiği için Taguchi metodunun “en küçük en iyi” yaklaşımı seçilerek Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$S/N = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (1)$$

Burada,

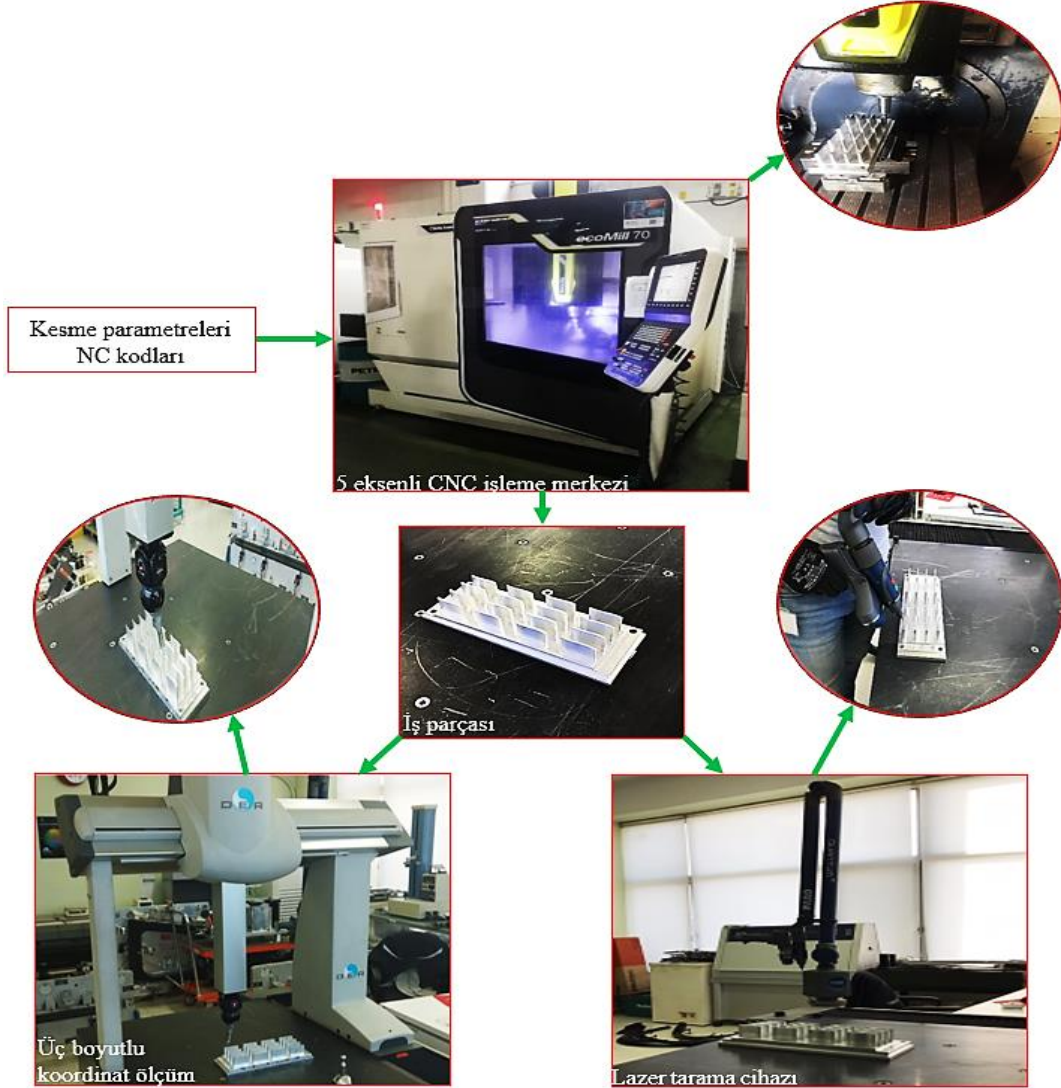
Y: Performans karakteristik değeri (form hatası),

n: Y değerlerinin sayısıdır (Özlü, 2021a; Akgün & Demir, 2021).

Form hatalarının en düşük değerleri için optimum kesme parametrelerini belirlemek ve kesme parametrelerinin etkilerini analiz etmek için Taguchi L32 ortogonal dizini seçilmiştir. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Kesme Parametreleri Ve Seviyeleri

| Kesme Parametreleri       | Sembol | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 | Seviye 4 |
|---------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Cidar Kalınlığı (mm)      | A      | 3        | 5        | -        | -        |
| İlerleme Miktarı (mm/diş) | B      | 0,05     | 0,1      | 0,15     | 0,2      |
| Kesme Hızı (m/dk)         | C      | 80       | 120      | 160      | 200      |



Şekil 2. Yapılan Deneysel Çalışmada Kullanılan Deney Düzenegi.

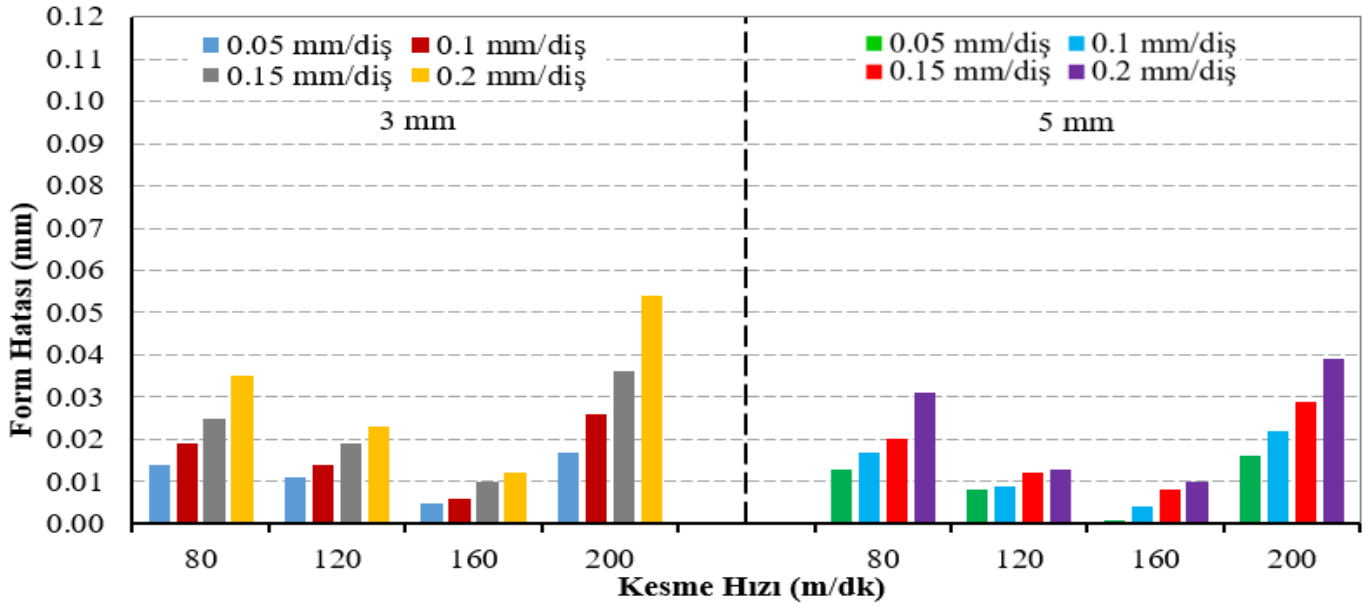
## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### *CMM ve LT Ölçüm Sonuçları için Form Hatalarının Değerlendirilmesi*

Bu bölümde cidar kalınlığının, kesme hızının ve ilerleme miktarının form hatalarına etkileri değerlendirilmiştir. Bunun için işlenen parçalar hem CMM hem de Lazer tarama (LT) cihazı ile ölçülerek ölçümlerin CAD datasından ne kadar sapma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca CMM ve LT'nın form hatalarının ölçümündeki performansları da değerlendirilmiştir. Cidar kalınlığına ve kesme parametrelerine bağlı form hatalarının belirlenmesi için CMM ve LT ölçüm sonuçları Şekil 3 ve Şekil 4'de sunulmuştur. Ayrıca sabit cidar kalınlığında ve kesme parametrelerde işlenen parçaların CMM ve LT ölçüm sonuçlarının farkları Şekil 5 a-b'de verilmiştir.

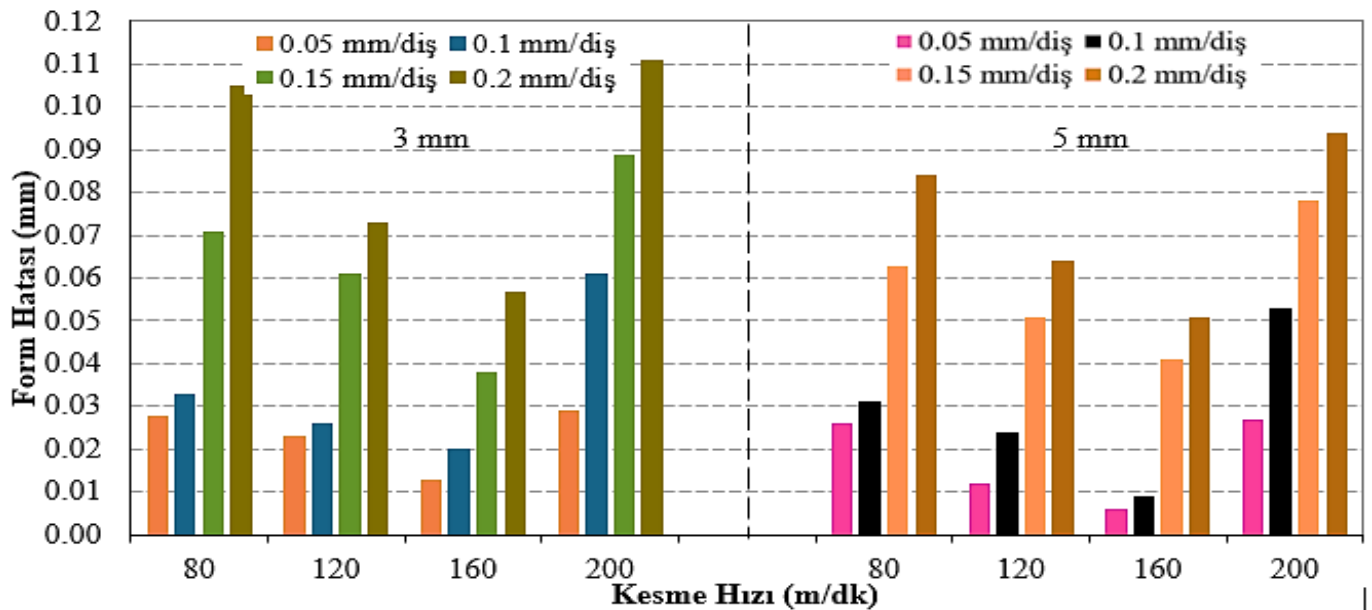
3 ve 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu CMM ölçümleriyle elde edilen form hatalarındaki değişim Şekil 3'de verilmiştir. 3 mm cidar kalınlığı için bütün kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında form hataları 0,005-0,054 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en düşük form hatası 0,005 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,054 mm olduğu görülmüştür. 5 mm cidar kalınlığı için bütün kesme hızlarında ve ilerleme miktarlarında form hatalarının 0,001-0,039 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar

kalınlığında en düşük form hatası 0,001 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,039 mm olduğu görülmüştür.



Şekil 3. CMM için Kesme Parametrelerinin Form Hatası Üzerine Etkileri.

3 ve 5 mm cidar kalınlığında numunelerin dört farklı kesme hızında ve dört farklı ilerleme miktarında işlenmesi sonucu LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarındaki değişim Şekil 4'de verilmiştir. 3 mm cidar kalınlığı için yapılan deneyler sonucu form hataları 0,013-0,111 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en düşük form hatası 0,013 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 3 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,111 mm olduğu görülmüştür. 5 mm cidar kalınlığı için yapılan deneyler sonucu form hataları 0,006-0,094 mm arasında değişmektedir. 160 m/dk kesme hızında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar kalınlığında en düşük form hatası 0,006 mm olurken, 200 m/dk kesme hızında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 5 mm cidar kalınlığında en yüksek form hatası 0,094 mm olduğu görülmüştür.

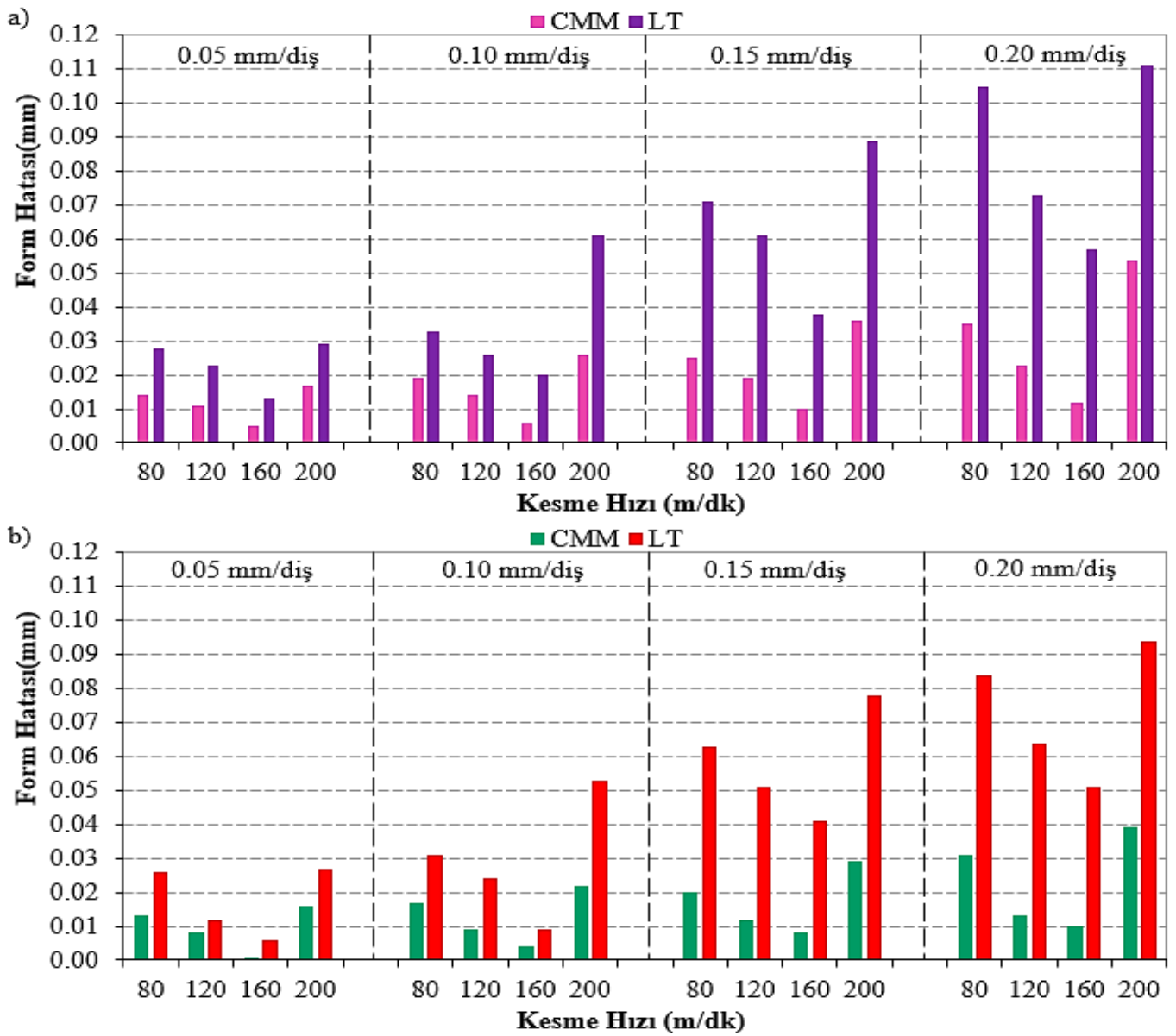


Şekil 4. LT için Kesme Parametrelerinin Form Hatası Üzerine Etkileri.

Genel olarak Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde, 3 ve 5 mm cidar kalınlıkları için CMM ve LT ölçümlerinde sabit ilerleme miktarında form hataları 80 m/dk kesme hızı düşük değerlerde yüksek çıktığı görülmektedir. Özlü (2021b), talaş kaldırma sırasında kesme bölgesi çevresinde ısı oluşumunun düşük oluşması iş parçası sertliğini düşürmemesi

kesme kuvvetlerinin artmasının bir nedeni olarak bildirmiştir. Kesme kuvvetinin artması ile iş parçasında ve kesici takımında meydana gelen sehimin form hatalarının artmasının ana nedeni olduğu düşünülmektedir. Kesme hızının 80 m/dk'dan 160 m/dk'ya kadar artırılması ile form hatasının azaldığı ancak kesme hızının 200 m/dk çıkarılmasıyla form hatalarında tekrar artışın olduğu görülmüştür. Özlü, Demir & Türkmen, (2019), kesme hızının belli bir değere kadar artırılması kesme bölgesindeki sıcaklığın artışına buda iş parçasının kayma dayanımının azalması ile kesme kuvvetinin azalacağı ifade etmiştir. Azalan kesme kuvvetine bağlı takım sehiminin azalacağı buna bağlı olarak iş parçasındaki form hatalarının azaldığı öngörülmektedir. Ancak kesme hızının 200 m/dk ile maksimum değere çıkması ile form hatalarında tekrar yükselme olmuştur. Kesme hızının artışına bağlı tezgâh fener milinin dönüş hızının artacağı artan fener mili dönüş hızının tezgâh titreşimini artıracığı buna bağlı olarak form hatası artacaktır. Ayrıca yapılan çalışmada cidar kalınlığının azalmasının form hatalarını artıracığı tespit edilmiştir.

Şekil 5 a-b'de 3mm ve 5 mm cidar kalınlığı için farklı kesme parametrelerinde işlenmesi sonucu oluşan form hatalarının CMM ve LT ölçüm farkları gösterilmiştir. Şekil 5a'daki deney sonuçlarına göre LT için 3 mm cidar kalınlığı için form hatası sonuçları ortalama 0,052 mm hesaplanırken, CMM için bu değer 0,02 mm hesaplanmıştır.



Şekil 5. Farklı Kesme Parametrelerinde CMM ve LT Ölçümü İçin Form Hata Farkı. a) 3 mm Cidar Kalınlığı, b) 5 mm Cidar Kalınlığı.

Şekil 5b'deki deney sonuçlarına göre LT için 3 mm cidar kalınlığı için form hatası sonuçları ortalama 0,045 mm hesaplanırken, CMM için bu değer 0,016 mm hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre bütün ölçüm sonuçlarına ve

hesaplamalara göre LT ölçüm sonuçları CMM ölçüm sonuçlarına göre ortalama %63 oranında daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun ana nedeninin de CMM ölçüm cihazının ölçüm hassasiyetinin LT cihazına göre daha fazla olmasıdır.

## CMM VE LT İÇİN FORM HATALARININ OPTİMİZE EDİLMESİ

### S/N Oranı Analizleri

Taguchi yöntemine göre performans özellikleri ne kadar küçük olursa o kadar iyi, ne kadar büyük olursa o kadar iyi ve nominal olarak daha iyi olmak üzere üç kategoride incelenmektedir. Yapılan çalışmada form hataları için optimum işleme performansını elde etmede ne kadar küçük olursa o kadar iyi performans karakteristiği kullanılmıştır (Nalbant, Gökkaya & Sur, 2007). Sinyal-gürültü (S/N) oranı, işleme parametrelerinin değiştirilmesi işlemin ve ürünün performans özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir kalite göstergesidir. Genel olarak, gürültünün daha küçük olması daha iyi sinyalin elde edilmesini sağlar, böylece daha büyük bir S/N oranı daha iyi sonuçlar verir. Bu sonuçların farkının küçüldüğü anlamına gelir (Vijian & Arunachalam, 2006). Form hatalarının en küçük değerleri istendiğinden S/N oranının hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılarak S/N oranları Tablo 3'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** CMM ve LT İçin Form Hatası Deneysel Sonuçları ve S/N Oranları.

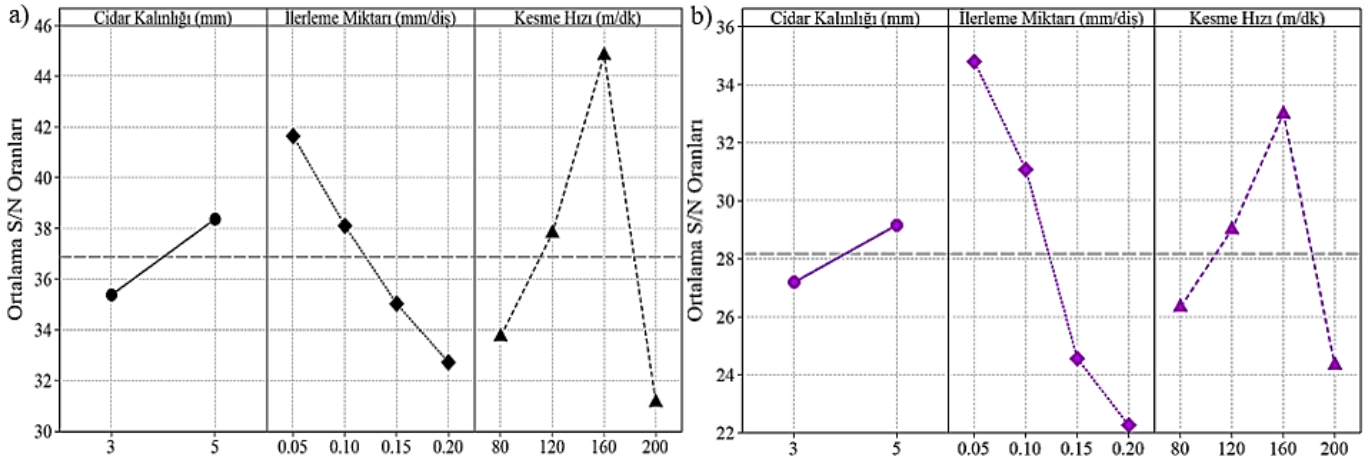
| Deneysel No | CK (mm) | f (mm/diş) | Vc (m/dak) | Form Hatası (mm) |       | Form Hatası S/N Oranı (dB) |        |
|-------------|---------|------------|------------|------------------|-------|----------------------------|--------|
|             |         |            |            | CMM              | LT    | CMM                        | LT     |
| 1           | 3       | 0,05       | 80         | 0,014            | 0,028 | 37,077                     | 31,057 |
| 2           | 3       | 0,05       | 120        | 0,011            | 0,023 | 39,172                     | 32,765 |
| 3           | 3       | 0,05       | 160        | 0,005            | 0,013 | 46,021                     | 37,721 |
| 4           | 3       | 0,05       | 200        | 0,017            | 0,029 | 35,391                     | 30,752 |
| 5           | 3       | 0,1        | 80         | 0,019            | 0,033 | 34,425                     | 29,63  |
| 6           | 3       | 0,1        | 120        | 0,014            | 0,026 | 37,077                     | 31,701 |
| 7           | 3       | 0,1        | 160        | 0,006            | 0,02  | 44,437                     | 33,979 |
| 8           | 3       | 0,1        | 200        | 0,026            | 0,061 | 31,59                      | 24,293 |
| 9           | 3       | 0,15       | 80         | 0,025            | 0,071 | 32,041                     | 22,975 |
| 10          | 3       | 0,15       | 120        | 0,019            | 0,061 | 34,425                     | 24,293 |
| 11          | 3       | 0,15       | 160        | 0,01             | 0,038 | 40                         | 28,404 |
| 12          | 3       | 0,15       | 200        | 0,036            | 0,089 | 28,874                     | 21,012 |
| 13          | 3       | 0,2        | 80         | 0,035            | 0,105 | 29,119                     | 19,576 |
| 14          | 3       | 0,2        | 120        | 0,023            | 0,073 | 32,765                     | 22,734 |
| 15          | 3       | 0,2        | 160        | 0,012            | 0,057 | 38,416                     | 24,883 |
| 16          | 3       | 0,2        | 200        | 0,054            | 0,111 | 25,352                     | 19,094 |
| 17          | 5       | 0,05       | 80         | 0,013            | 0,026 | 37,721                     | 31,701 |
| 18          | 5       | 0,05       | 120        | 0,008            | 0,012 | 41,938                     | 38,416 |
| 19          | 5       | 0,05       | 160        | 0,001            | 0,006 | 60                         | 44,437 |
| 20          | 5       | 0,05       | 200        | 0,016            | 0,027 | 35,918                     | 31,373 |
| 21          | 5       | 0,1        | 80         | 0,017            | 0,031 | 35,391                     | 30,173 |
| 22          | 5       | 0,1        | 120        | 0,009            | 0,024 | 40,915                     | 32,396 |
| 23          | 5       | 0,1        | 160        | 0,004            | 0,009 | 47,959                     | 40,915 |
| 24          | 5       | 0,1        | 200        | 0,022            | 0,053 | 33,086                     | 25,514 |
| 25          | 5       | 0,15       | 80         | 0,02             | 0,063 | 33,979                     | 24,013 |
| 26          | 5       | 0,15       | 120        | 0,012            | 0,051 | 38,416                     | 25,849 |
| 27          | 5       | 0,15       | 160        | 0,008            | 0,041 | 41,759                     | 27,744 |
| 28          | 5       | 0,15       | 200        | 0,029            | 0,078 | 30,752                     | 22,158 |
| 29          | 5       | 0,2        | 80         | 0,031            | 0,084 | 30,173                     | 21,514 |
| 30          | 5       | 0,2        | 120        | 0,013            | 0,064 | 37,833                     | 23,876 |
| 31          | 5       | 0,2        | 160        | 0,01             | 0,051 | 40                         | 25,849 |
| 32          | 5       | 0,2        | 200        | 0,039            | 0,094 | 28,179                     | 20,537 |

Deneysel sonuçları elde edilen CMM ve LT ölçümleri sonucu elde edilen form hatalarının ortalamaları sırası ile 0,017 mm ve 0,044 mm iken CMM ve LT için ortalama S/N oranı sırası ile 37,324 dB ve 29,352 dB olarak hesaplanmıştır. CMM ve LT için her bir kesme parametrelerinin optimum seviyelerine ait S/N yanıt sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca

CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hatası üzerine etkileri Şekil 6'daki grafikte gösterilmiştir. Şekil 6'daki en büyük S/N oranı o kesme parametresinin en iyi seviyesini ifade etmektedir (Nas & Altan, 2020). Buna göre CMM ve LT ölçümleri sonucu optimum kesme parametrelerini veren seviyelerin A2B1C3 (5 mm, 0,05 mm/diş ve 200 m/dak) olduğu görülmüştür (Şekil 6).

**Tablo 4.** CMM ve LT İçin Form Hatası S/N Yanıt Tablosu.

| Seviyeler | CMM          |              |              | LT           |              |              |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | CK (mm)      | F (mm/diş)   | Vc (m/dk)    | CK (mm)      | F (mm/diş)   | Vc (m/dk)    |
| 1         | 35,39        | <b>41,65</b> | 33,74        | 27,18        | <b>34,78</b> | 26,33        |
| 2         | <b>38,38</b> | 38,11        | 37,82        | <b>29,15</b> | 31,08        | 29,00        |
| 3         |              | 35,03        | <b>44,82</b> |              | 24,56        | <b>32,99</b> |
| 4         |              | 32,73        | 31,14        |              | 22,26        | 24,34        |
| Delta     | 2,99         | 8,93         | 13,68        | 1,97         | 12,52        | 8,65         |



**Şekil 6.** Kesme Parametrelerinin, a) CMM ve b) LT İçin Form Hatası Üzerine Etkileri.

### Varyans Analizi (ANOVA)

CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hataları üzerine etkilerini belirlemek için %95 güven düzeyinde ANOVA analizi yapıldı. ANOVA analizinde iki önemli faktör vardır. Bunlardan birincisi anlamlılık düzeyi olan (P) değeridir. P değeri kesme parametrelerinin her birinin sonuçlar üzerinde anlamlı olması için 0,05'ten küçük olması beklenir. İkincisi ise F değeridir. F değeri sonuçlarının en büyük olan parametre sonuçlar üzerinde en etkili olandır (Akgün & Kara, 2021; Çırakoğlu, Özlü & Demir, 2021).

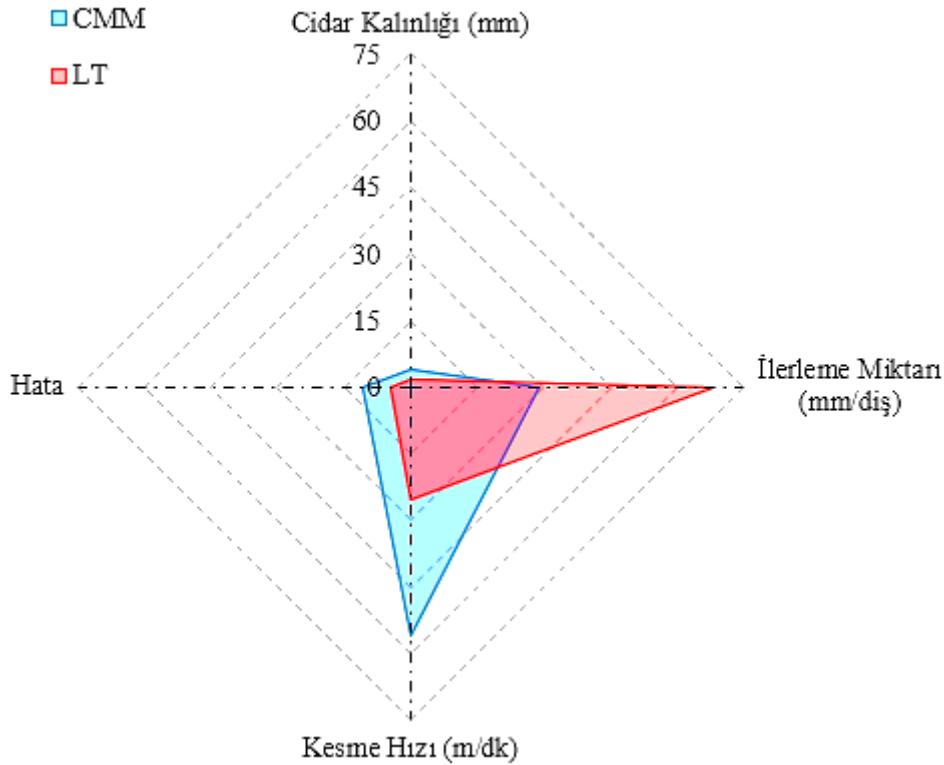
**Tablo 5.** ANOVA Sonuçları.

| Kesme Parametreleri     | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F Değeri      | P Değeri     |
|-------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|--------------|
| CMM                     |                     |                 |                    |               |              |
| Cidar Kalınlığı         | 1                   | 0,000172        | 0,000172           | 8,90          | 0,006        |
| İlerleme Miktarı        | 3                   | 0,001215        | 0,001215           | 20,97         | 0,000        |
| <b>Kesme Hızı</b>       | <b>3</b>            | <b>0,002371</b> | <b>0,002371</b>    | <b>40,95</b>  | <b>0,000</b> |
| Hata                    | 24                  | 0,000463        | 0,000463           |               |              |
| LT                      |                     |                 |                    |               |              |
| Cidar Kalınlığı         | 1                   | 0,000480        | 0,000480           | 9,67          | 0,005        |
| <b>İlerleme Miktarı</b> | <b>3</b>            | <b>0,017644</b> | <b>0,017644</b>    | <b>118,32</b> | <b>0,000</b> |
| Kesme Hızı              | 3                   | 0,006606        | 0,006606           | 44,30         | 0,000        |
| Hata                    | 24                  | 0,001193        | 0,001193           |               |              |

Tablo 5'de CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hataları üzerine etkilerini belirlemek için yapılan analiz sonuçları gösterilmiştir. Ayrıca CMM ve LT için kesme parametrelerinin form hataları üzerine katkı oranları Şekil



7'deki radar grafiğinde sunulmuştur. CMM için form hataları üzerine en etkin kesme parametresi %56,18 ilerleme miktarı olurken bunu sırası ile %28,77 kesme hızı ve %4,07 ile cidar kalınlığı olurken, LT için form hataları üzerine en etkin kesme parametresi %68,06 kesme hız olurken bunu sırası ile %25,48 ilerleme miktarı ve %1,85 ile cidar kalınlığı olduğu görülmüştür.



Şekil 7. CMM ve LT İçin Kesme Parametrelerinin Form Hataları Üzerine Katkı Oranları.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, kuru işleme şartlarında serbest formlu ince cidarlı AA 5083-H111 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin form hatasına etkisi incelenmiştir. İşlenen parçalardaki form hataları CMM ve LS cihazları ile ölçülerek cihazların performans karşılaştırılmıştır. Ayrıca optimum kesme parametrelerinin elde edilmesi için Taguchi yöntemi ve ANOVA uygulanmıştır. Yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- ❖ 5 mm cidar kalınlığında, 0,05 mm/diş ilerleme miktarında ve 160 m/dak kesme hızında CMM ve LT için en düşük form hatası sırası ile 0,001 mm ve 0,006 mm ölçülmüştür.
- ❖ CMM ölçümlerinde en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,15 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,036 mm ölçülürken, LT ölçümlerinde en yüksek form hatası 3 mm cidar kalınlığında, 0,2 mm/diş ilerleme miktarında ve 200 m/dak kesme hızında 0,054 mm ölçülmüştür.
- ❖ Yapılan istatistiksel analizler sonucu her iki ölçümün (CMM ve LT) en düşük form hataları için optimum kesme parametre seviyeleri A2B1C3 (5 mm cidar kalınlığı, 0,05 mm/diş ilerleme miktarı ve 160 m/dak) olarak belirlenmiştir.
- ❖ CMM ve LT ölçümleri üzerine en etkin kesme parametresi sırası ile %56,18 ile kesme hız ve %68,06 ilerleme miktarı olmuştur.
- ❖ CMM ve LT için yapılan regresyon analiz sonuçlarına bakıldığında ikinci derece regresyon analiz sonuçları, lineer regresyon sonuçlarına göre gerçek deney sonuçlarına daha yakın çıktığı görülmüştür.

## Teşekkür

Yapılan çalışmada desteklerini esirgemeyen, bünyesinde bulunan ekipmanların kullanılmasına izin veren PLASCAM A.Ş yönetimine teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Akgün, M., & Demir, H. (2021). Optimization and finite element modelling of tool wear in milling of Inconel 625 superalloy. *Journal of Polytechnic*, 24(2), 391-400. <https://doi.org/10.2339/politeknik.706605>
- Akgün, M., & Kara, F. (2021). Analysis and optimization of cutting tool coating effects on surface roughness and cutting forces on turning of AA 6061 alloy. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 6498261. <https://doi.org/10.1155/2021/6498261>
- Çırakoğlu, F., Özlü, B., Demir, H. (2021). Hardox 450 çeliğinin lazerle delinmesinde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkisinin incelenmesi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 913-923. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.977412>
- Desai, K.A., & Rao, P.V.M. (2012). On cutter deflection surface errors in peripheral milling. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2443-2454. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.07.003>
- Gök, A., Göloğlu, C., Demirci, H.İ. (2014). Dışbükey ve içbükey yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde takım sehimine bağlı form hatalarının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 365-374.
- Li, Y., & Gu, P. (2004). Free-form surface inspection techniques state of the art review. *Computer-Aided Design*, 36(13), 1395-1417. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.02.009>
- Mali, R.A., Gupta, T.V.K., Ramkumar, J. (2021). A comprehensive review of free-form surface milling-Advances over a decade. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 132-167. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.014>
- Nalbant, M., Gökkaya, H., Sur, G. (2007). Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. *Materials & Design*, 28(4), 1379-1385. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.01.008>
- Nas, E., & Altan Özbek, N. (2020). Optimization of the machining parameters in turning of hardened hot work tool steel using cryogenically treated tools. *Surface Review and Letters*, 27(05), 1950177. <https://doi.org/10.1142/S0218625X19501774>
- Oliveira, E.L., Souza, A.F., Diniz, A.E. (2018). Evaluating the influences of the cutting parameters on the surface roughness and form errors in 4-axis milling of thin-walled free-form parts of AISI H13 steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40, 334. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1250-1>
- Özlü, B. (2021a). Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters*, 28(10), 2150093. <https://doi.org/10.1142/S0218625X21500931>
- Özlü, B. (2021b). Slepner soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında kesme parametrelerinin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş şekli üzerine etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1241-1252. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.668169>
- Özlü, B., Demir, H., Türkmen, M. (2019). The effect of mechanical properties and the cutting parameters on machinability of aisi 5140 steel cooled at high cooling rates after hot forging. *Journal of Polytechnic*, 22(4), 879-887. <https://doi.org/10.2339/politeknik.479345>
- Vijian, P., & Arunachalam, V.P. (2006). Optimization of squeeze cast parameters of LM6 aluminium alloy for surface roughness using Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 180(1-3), 161-166.
- Yaka, H., Demir, H., Gök A., Akkuş, H. (2018). Determination of optimum cutting parameters on free form surfaces in terms of form errors and machining times. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(4), 1153-1164.
- Yaka, H., Demir, H., GÖK, A. (2017). Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surfaces. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 35(2), 323-331.
- Yan, X., & Ballu, A. (2019). Review and comparison of form error simulation methods for computer-aided tolerancing. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 19(1), 010802. <https://doi.org/10.1115/1.4041476>