

## CNC DİK İŞLEME MERKEZLERİNDE ISIL İŞLEME HATALARININ İŞPARÇASI CAD MODELİ REVİZYONUyla DÜZELTİLMESİ

**Eyüp Sabri TOPAL\***, **Mustafa Evren GEÇOL\*\***, **Şaban Murat ÜNLÜ\*\*\***

\*[topal@erciyes.edu.tr](mailto:topal@erciyes.edu.tr) Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039-Kayseri  
\*\*[mustafaevren@gmail.com](mailto:mustafaevren@gmail.com) Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039-Kayseri  
\*\*\*[smunlu@erciyes.edu.tr](mailto:smunlu@erciyes.edu.tr) Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38039-Kayseri

### ÖZET

Bu çalışmada CNC dik işleme merkezlerinde iş parçasının ısı genleşme kaynaklı işleme hatasının incelenmesi ve düzeltilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla iş parçası CAD modelinin ısı genleşme davranışı sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş ve iş parçası CAD modeli analiz sonuçlarına göre revize edilmiştir. Revizyon işlemi için bilgisayar destekli analiz modülü ile CAM modülünü bütünleştiren bir yazılım geliştirilmiştir. Yeni CAD modeli üzerinde gerçekleştirilen CAM çalışması ile hatayı düzeltecek alternatif CNC parça programı elde edilmiştir. Özdeş numunelerin farklı sıcaklıklarda imalatı yapılarak düzeltme stratejisinin tekrarlanabilirliği denenmiştir. Geliştirilen yöntemle ısı etkenlerden kaynaklanan iş parçası boyutsal hatası yaklaşık %80 oranında azaltılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** CNC, Termal hata, CAD/CAM.

### ABSTRACT

In this study, examining and correction of workpiece thermal expansion induced errors in CNC milling machine is aimed. In this scope, workpiece thermal expansion attitude has been analysed with finite elements method on the CAD Model, and workpiece has been revised according to the results of analysis. For revision process, an interface software has been developed, making a relation between computer aided analysis modul and CAD modul. Thanks to CAM process implemented on the new CAD Model, a CNC part program that will correct the error has been created. The repeatability of the correction strategy has been studied by manufacturing identical samples at different temperatures. By the method developed, the workpiece's dimensional error which depends on thermal factors is approximately reduced in a ratio of 80 percent.

**Keywords:** CNC, Thermal error, CAD/CAM

## 1.GİRİŞ

Gelişen imal usulleri arasında CNC tezgahlar ile talaşlı imalat, karmaşık parçaların yüksek boyutsal hassasiyette işlenebilmesine imkan sağlaması, hızlı ve ekonomik olması gibi bir çok avantaja sahip olmalarından dolayı büyük öneme sahiptir ve teknolojiye bağlı olarak hızla gelişmektedir. CNC frezeleme ile işlenen parçalar kalıpcılık, otomotiv, denizcilik, havacılık, savunma ve uzay endüstrisi gibi birçok endüstri dalında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hareket eden parçalar ısı üretir ve bu ısı sonucu oluşan genleşmenin takım konumlandırılmada hatalara sebep olmaktadır. Termal hata olarak adlandırılan bu hatalar tezgah (işleme) hatalarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır [1-4]. Buna ek olarak birbiri ile temas halindeki yapısal elemanlardaki termal deformasyon, termal temas direncinin homojen bir şekilde dağıtılmayışından ciddi şekilde etkilenir [5,6].

Makine elemanlarının boyutsal tamlığını arttırmada İmalat esnasında çevrimiçi ve çevrimdışı kontrol teknikleri kullanarak sapmaları düzeltmek ya da oluşmadan önce engellemek mümkündür. Bu metotlar içerdiği kontrol ve düzeltme teknikleri yardımıyla düşük maliyetle minimum hatalı parça üretmeyi amaçlar. Hata düzeltme teknikleri ile işlemin doğasından kaynaklanan hatalar düzeltilebilir. Bu sayede istenilen hassasiyet, yüksek paso derinliği ve ilerleme değerlerinde bile sağlanabilir. Bu durum üretim hızını artırdığı gibi maliyetleri de belirgin bir şekilde düşürür. Sağladığı bu avantajlar sebebiyle yapılan araştırma çalışmaları son zamanlarda bu yaklaşım çevresinde yoğunlaşmıştır.

CNC Frezeleme işleminde ısıl değişimlerin etkisiyle ortaya çıkan işleme hatalarının en aza indirilebilmesi için yeni bir yaklaşım geliştirilmesi gereği hissedilmiştir. Bu yaklaşımla, CNC frezeleme işleminde ek donanımlar kullanmaksızın ve imalat hızında düşüşe meydan vermeden boyutsal tamlıkta belirgin bir gelişme sağlanması hedeflenmektedir. Böylece ürün kalitesindeki artışın yanı sıra frezeleme paso sayısında azalma, takip eden bitirme işleminde (örneğin taşlama) kısılma veya işlemin tamamen ortadan kalkması mümkün olacaktır.

Başarılı bir hata düzeltme stratejisi geliştirebilmek için hatanın kaynağının ve yapısının iyi anlaşılması gerekmektedir. İşlenmiş bir parçadaki maksimum hata miktarı o parçanın sahip olduğu hassasiyet (tolerans) değerini de ifade eder. Bütün bunlar kullanılan sistemler bütününe (işleme ve ölçme) çözünürlüğüne bağlıdır [7-9].

Isıl hatalar temelde iki kaynaktan beslenir. Bunların ilki işleme ortamının sıcaklığının ideal sıcaklıktan farklı olması, böylece işlenmekte olan iş parçasının ve işleme sisteminin genleşmiş ya da büzölmüş olması sebebiyle işlemin istenenden farklı ölçülerde gerçekleşmesidir. Bu sorun, klimatize edilmiş ve yalıtılmış imalat ortamlarıyla büyük maliyetler karşılığında çözülmektedir. İkinci ısıl hata kaynağı ise işleme sırasında işleme sisteminin bir miktar ısı üreterek ek bir hata oluşturmasıdır. Bu hata bileşeni diğerine nazaran çok daha küçük etkiye sahip olmakla birlikte klimatize edilmiş ortamlarda da etkili olabilir. Bu hatanın telafisi ise işleme sisteminin ısıl durumunun izlenmesi ve işlem sıra planlamalarının bu sakıncayı en aza indirecek şekilde düzenlenmesiyle gerçekleştirilebilir. Örneğin klimatize ve izole ortamlarda sadece yüzey bitirme işlemlerinin yapılmasıyla bu

hata çok büyük oranda engellenir. Bu faktör, toplam hata bilançosundaki oranı çok düşük olduğundan çoğu imalatçı tarafından ihmal edilmektedir.

## **2. ISIL HATALAR**

Isıl hatalar öncelikli olarak çevresel sıcaklık değişimlerinden ya da imalat ortamı sıcaklığının ideal sıcaklıktan farklı olmasından kaynaklanır. Ayrıca motorun hareketinden kaynaklanan ısı, yataklardaki sürtünme, işleme esnasında takımla iş parçası arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı üretimi, iletim mekanizmaları ve kesme yöntemlerinden kaynaklanan ısı nedeniyle de bir miktar ısıl hata ortaya çıkar. Bu hatalardan dolayı tezgah gövdesi ve elamanlarında genleşme, büzülme ve deformasyon oluşur. İş parçası, kesme takımı ve takım tutucularında ısıl farklar nedeniyle boyutsal değişimler ve takımla iş parçası arasında konumsal sapmalar meydana gelir. Tezgahın her parçasının ısısı farklı olduğundan ısıl hataların etkisi düzenli değildir. Özellikle tezgah uzun bir süre kapalı kaldıktan sonra, çalıştırılmak için açıldığında makine elemanları arasındaki sıcaklık farklarını asgariye indirmek için, makine ilk açıldığında, düşük devir ve ilerleme değerlerinde boşta çalıştırılmak suretiyle ısıtma işlemine tabi tutulur [10].

Talaş kaldırma sırasında oluşan ısı, doğru işleme şartlarının sağlanmasıyla en aza indirilebilir. Doğru işleme şartları, işlenecek malzemeye uygun takımların seçilmesi, uygun kesme hızı ve ilerleme hızlarının uygulanmasıyla sağlanır. Ayrıca, soğutucu sıvısının doğrudan veya sprey olarak kesme alanına tatbiki, işlem sırasında ortaya çıkan ısıyı uzaklaştırır. Ayrıca sıcak talaş birikiminden kaynaklanan ısınma problemi, talaşın tezgahtan uzaklaştırılmasıyla çözülebilir.

Nümerik kontrollü tezgahların bulunduğu bir atölyenin sıcaklığı sabit olarak, 22C<sup>0</sup>de tutulmalıdır. Bir radyatörün varlığı veya tezgaha yakın bir kapının sürekli açılıp kapanmasının zararlı etkileri olabilir. Özellikle sıcak yaz günlerinde, iklimlendirmesi yeterli olmayan iş yerlerinde üretimin aksadığı ya da boyutsal hassasiyetin düştüğü görülebilmektedir [11,12].

## **3.TEORİK ÇALIŞMA**

### **3.1.Hata Düzeltme Stratejisi**

Bu çalışmada imalat ortamı sıcaklığının ideal sıcaklıktan (22<sup>0</sup>C) farklılıklar göstermesinden kaynaklanan ısıl hataların giderilmesi hedeflenmiştir. Temel strateji ortam sıcaklığının ideal sıcaklıktan yüksek veya düşük olmasından dolayı iş parçasında ortaya çıkacak boyutsal hataların sonlu elemanlar analizi (FEA) ile imalat öncesinde hesaplanması, bu hatayı telafi etmek üzere alternatif bir CAD modeli geliştirilmesi ve bu model üzerinde yapılacak CAM uygulaması ile hatanın oluşmadan giderilmesidir.

FEA analizinden alınan sonuçlara göre CAD modelinin revize edilmesi ve yeni CAD modelinin elde edilmesinde Visual Basic dilinde hazırlanan “Düğüm Noktası” adı verilen bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım FEA sonuçlarını değerlendirerek yeni CAD modelinin düğüm noktalarını belirlemektedir.

Bu çalışmada izlenen yol; CAD modülüyle tasarlanan modelin FEA ortamına aktarılıp, malzeme özelliklerinin tanımlanması ve sıcaklık farkının girilmesi ile yapılan analiz sonucu ortaya çıkan verilerin işlenmesi ve CAM programı aracılığı ile CNC parça programının üretilmesidir. Oda sıcaklığı ile işleme sıcaklığı arasındaki farkın ters işaretli olarak Ansys paket programına girilmesi ile malzemenin ideal sıcaklıkta istenilen ölçülerinin elde edilmesi için işleme sıcaklığında olması gereken ölçüleri elde edilir. Örnek olarak; işleme sıcaklığı oda sıcaklığından  $10\text{ C}^0$  düşük ise FEA ortamında malzemenin ideal sıcaklığın  $10\text{ C}^0$  üzerine ısıtılması sonucu ortaya çıkan şekil üretilir.

### **3.2.Sonlu Elemanlar Metodu**

Sonlu elemanlar metodu (finite elements methods,) analiz edilecek mamul veya yarı mamullerin çok küçük parçalara bölünmesi ve hesapların bu küçük parçalar üzerinden yapılması esasına dayanır. Parçalar ne kadar küçük seçilirse o kadar doğru sonuca ulaşılır. Teorik çalışmada sonlu elemanlar metodunu kullanan ANSYS analiz programı kullanılmıştır. Malzemenin cinsi, yoğunluğu, ısıl iletkenlik katsayısı, elastise modülü ve Poisson oranı bilgileri analiz için temel parametrelerdir.

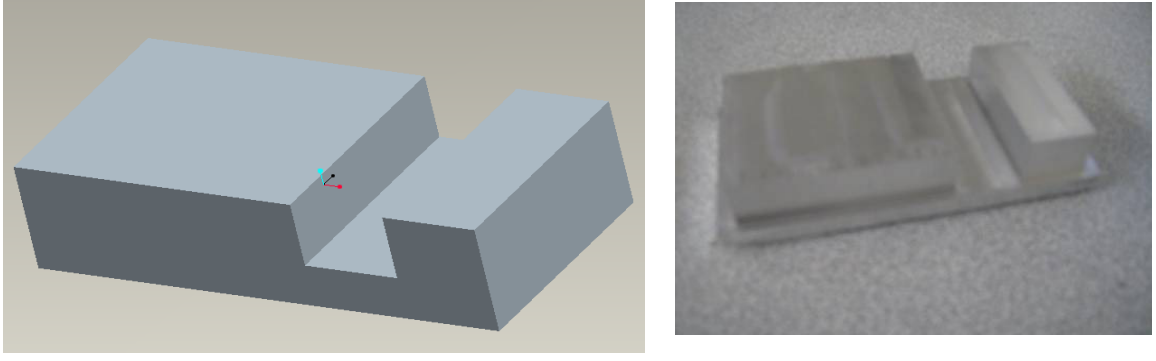
### **3.3.Düğüm Noktası Yazılımı**

Program Visual Basic programlama dilinde hazırlanmış olup, ANSYS programından alınan Düğüm Noktaları, nod ve nodal hataları düzenleme, parçanın dış yüzeylerindeki noktaları belirleme, bu noktadaki ısıl değişimler sonucu ortaya çıkan yeni şeklin kabuğunu örmede kullanılacak x,y,z konumlarını belirlemede kullanılmıştır. Programın temel amacı parçayı oluşturan köşe noktaların belirlenmesidir. FEA analizi çok sayıda nokta kümesi çıkarmakta, model için gerekli olan noktaların filtrelenmesi bu yazılım aracılığıyla sağlanmaktadır.

Bu çalışma için gerekli olan bilgi düğüm noktalarının (keypointlerin) son konumlarıdır. Bundan dolayı hazırlanan yazılımda her bir düğüm noktasının nod listesindeki sıra numarası esas alınarak, o sıra numarasına denk düşen nodal hata miktarının bulunup; ilgili düğüm noktasının konum bilgisiyle hata miktarı toplanarak yeni noktanın konumu belirlenmiş ve sonuç bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Böylelikle analiz sonucu ortaya çıkacak olan yeni modeli oluşturan nokta kümesi elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen metin belgesi “.PTS” uzantılı olarak Cam programına aktarılmış ve bu aktarılan nokta kümelerinden geçen yüzeyler oluşturularak yeni model elde edilmiştir.

## **4. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Deney numunesi olarak talaşlı işlemede iyi yüzey kalitesi vermesi sebebiyle Al 7075 ve ST 37 tercih edilmiş olup boyutsal ölçüm kolaylığı için küçük ebatlarda (100x50x25 mm) tasarlanmıştır (Şekil 1). Numunelerin üzerinde kanallar açılarak bu kanalların genleşmede nasıl etkilendiği araştırılmıştır.



Şekil 1. Deney numunesi

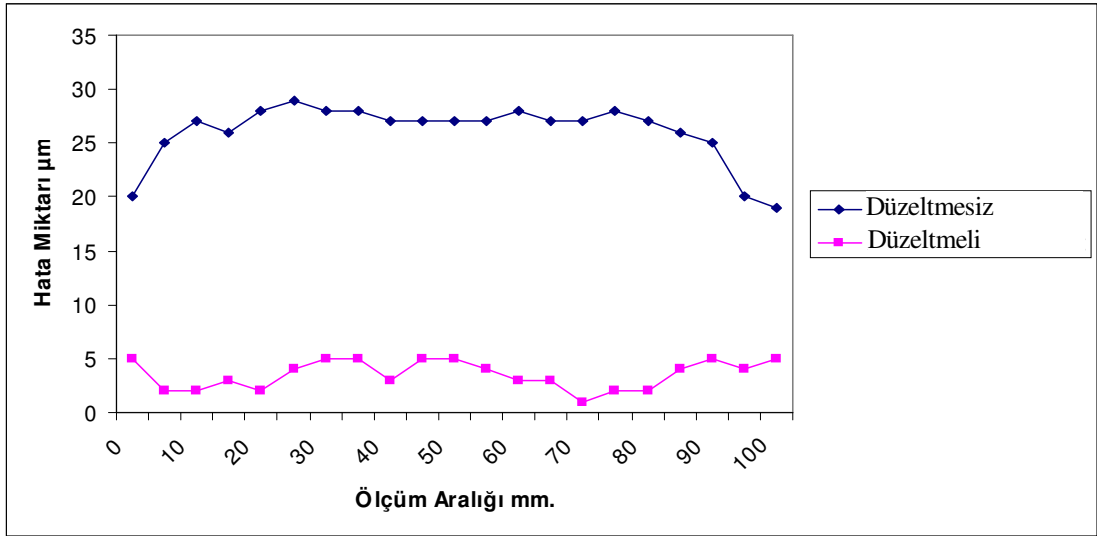
İşleme testleri için Taksan marka TMC-500 V model Fanuc series O-M kontrol ünitesine sahip CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Kesici takım olarak 10 mm çapa, 60mm uzunluğuna sahip TiAlN kaplama 4 ağızlı saplı takım kullanılmıştır. Numuneler deney öncesi istenen ölçülere gelmesi için bir ön işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra yüzey bitirme işleminde hata düzeltme yöntemi uygulanmıştır. FEA analizlerinden elde edilen veriler CAM ortamına aktarılmış ve NC kodları oluşturularak iş parçasının imalatı yapılmıştır.

## 5.DENEYSSEL SONUÇLAR

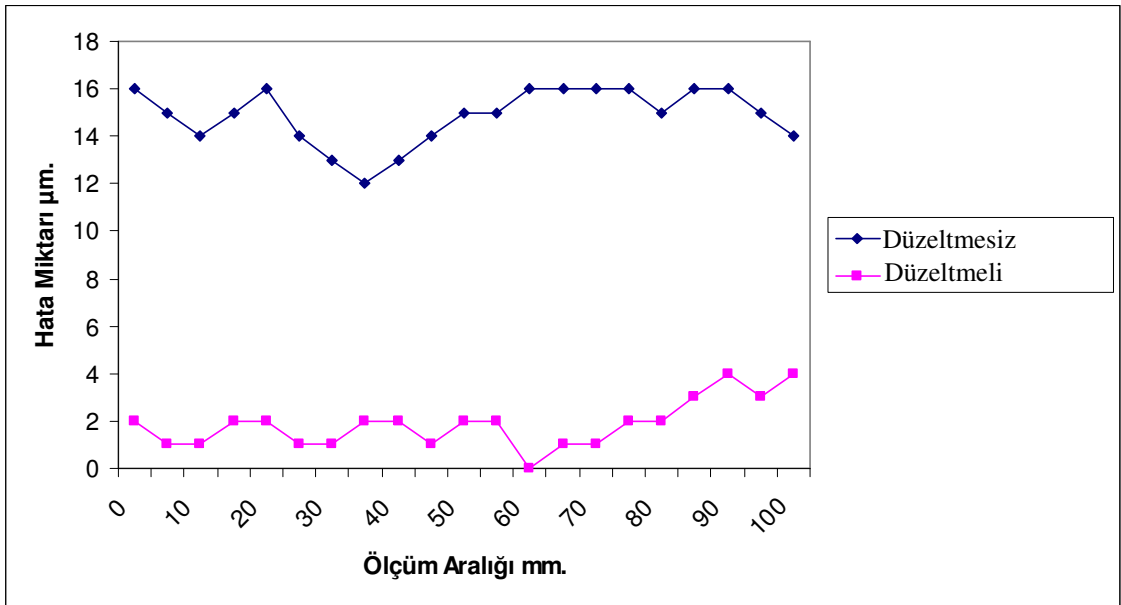
İşleme testleri 10, 30 ve 40 °C sıcaklık şartlarında düzeltme yöntemi kullanılarak ve kullanılmayarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle öngörülen hata düzeltme yönteminin hatayı ne ölçüde telafi ettiği gözlenmiştir.

### 5.1. 10 °C Sıcaklıktaki Test Sonuçları

İlk çalışmada 10 °C sıcaklıkta işleme testleri hata düzeltme yöntemi kullanılarak ve kullanılmayarak (düzeltmesiz) tekrarlanmıştır (Şekil 2 ve 3). Deney sonucu elde edilen verilere göre ortalama hata miktarı düzeltmesiz işlemede Al7075 için 27µm ve ST37 için 15 µm iken, Düzeltme yöntemi kullanılarak yapılan işlemeyle Al7075 için 4µm ve ST37 için 2 µm değerine kadar düşmüştür. Hata telafisi Al7075 için %85, ST37 için %87 olarak gerçekleşmiştir.



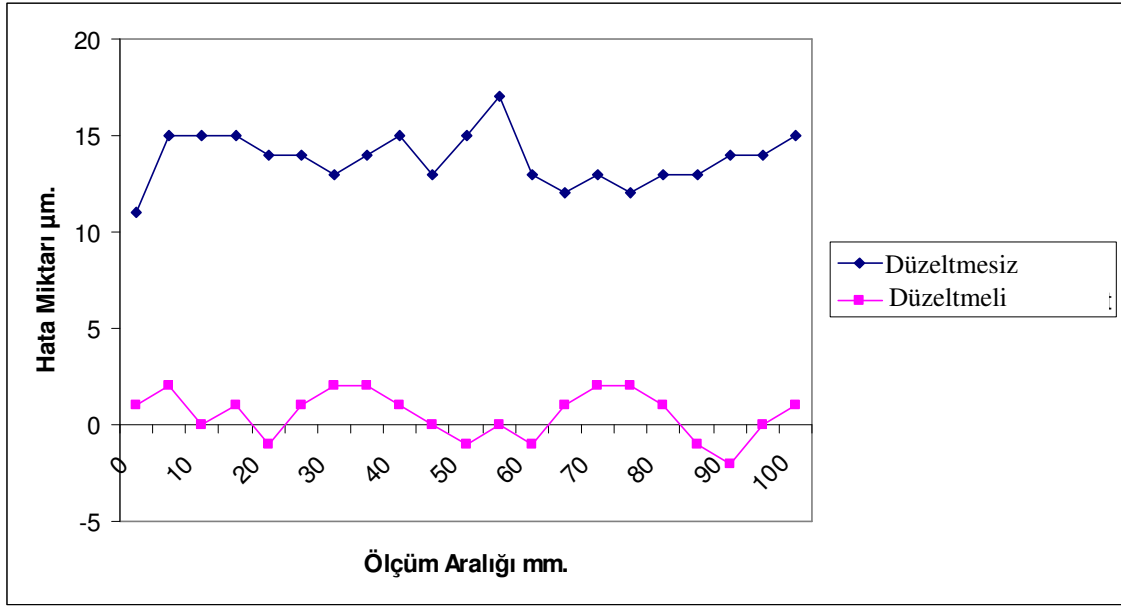
Şekil 2. 10°C sıcaklıkta işlenen Al7075 numunenin ölçüm sonuçları



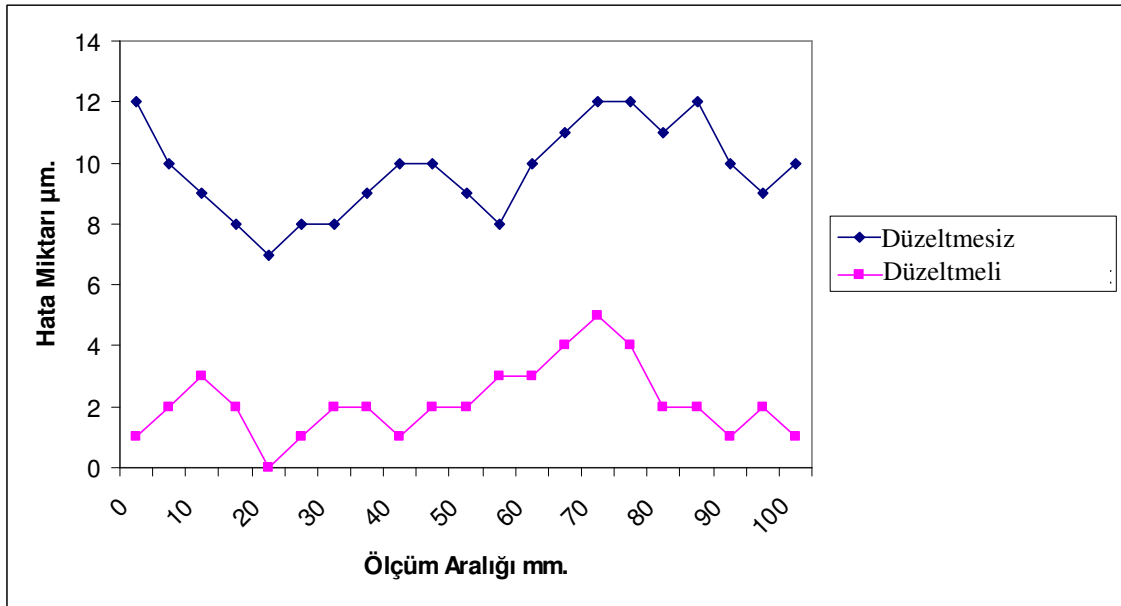
Şekil 3. 10°C sıcaklıkta işlenen ST 37 numunenin ölçüm sonuçları

## 5.2. 30°C Sıcaklıktaki Test Sonuçları

30°C sıcaklıkta işlenen Al7075 ve ST37 numunelerin imalatı analiz ve Dügüm Noktası programı kullanılarak ve kullanılmayarak tekrarlanmıştır (Şekil 4. ve 5.). Deney sonucu elde edilen verilere göre hata miktarı ortalama olarak düzeltilmesiz işlemede Al7075 için 15 µm ve ST37 için 10 µm iken, Düzeltme yöntemi kullanılarak yapılan imalatta Al7075 için 2 µm ve ST37 için 2 µm'a kadar düşmüştür. Hata telafisi Al7075 için %87, ST37 için ise %80 olarak belirlenmiştir.



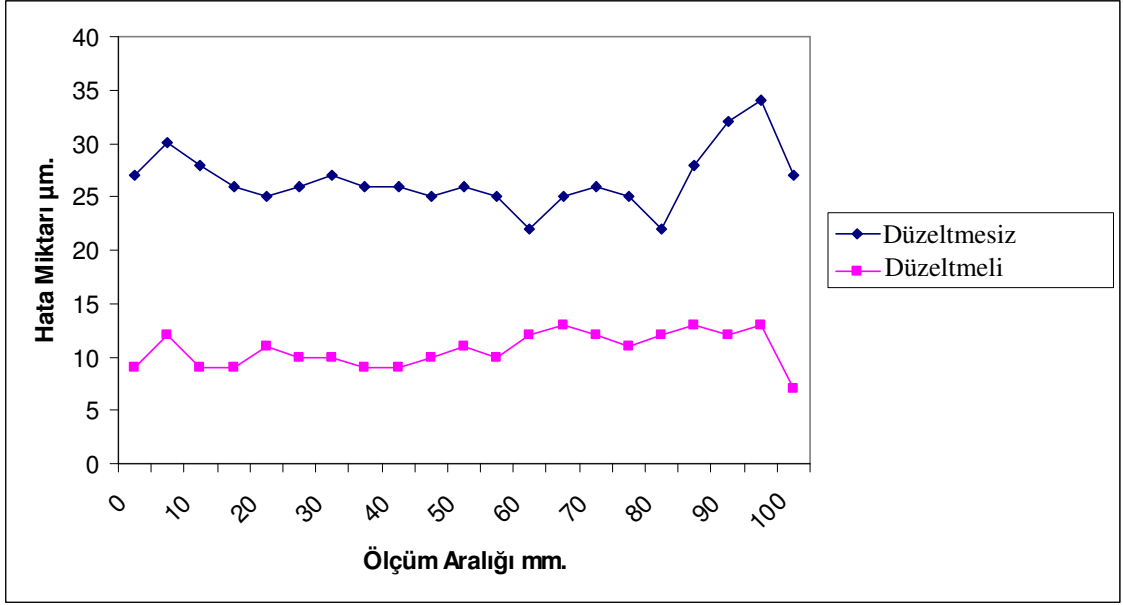
Şekil 4. 30°C sıcaklıkta işlenen Al7075 numunenin ölçüm sonuçları



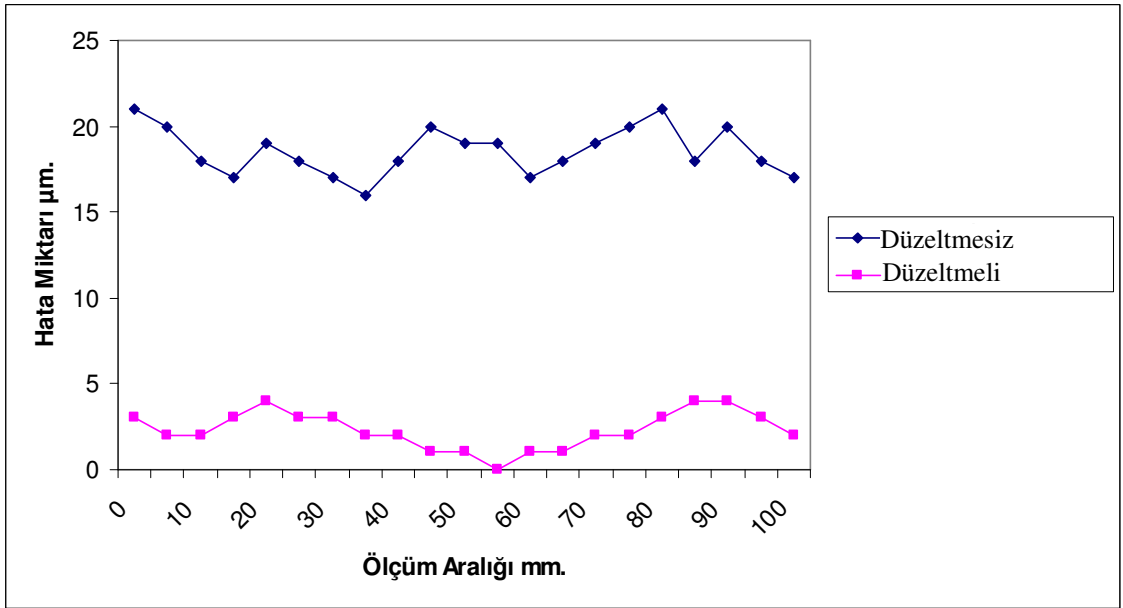
Şekil 5. 30°C sıcaklıkta işlenen St 37 numunenin ölçüm sonuçları

### 5.3. 40°C Sıcaklıktaki Test Sonuçları

40°C sıcaklıkta gerçekleştirilen işleme testlerinin sonuçları Şekil 6 ve 7 sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre hata miktarı ortalama olarak düzeltilmesiz işlemede Al7075 için 28 µm ve ST37 için 20 µm iken, Düzeltme yöntemi kullanılarak yapılan imalatta Al7075 için 9 µm ve ST37 için 4 µm'a kadar düşmüştür. Hata telafisi Al7075 için % 68, ST37 için ise % 80 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. 40°C sıcaklıkta işlenen Al7075 numunenin ölçüm sonuçları



Şekil 7. 40°C sıcaklıkta işlenen ST37 numunenin ölçüm sonuçları

## 6. SONUÇLAR

- Bu çalışmada CNC frezeleme işleminde ısıl hataları telafi etmek için bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem iş parçasının ısıl davranışlarından kaynaklanan işleme hatasını başarıyla azaltmıştır.
- Yöntem, işlemede klimatize ortamlarda bekleme ihtiyacını ortadan kaldırarak işleme süresinde kısaltmaya ve maliyetlerin düşmesine imkan sağlamıştır.
- Geliştirilen yöntem hata düzeltme performansını aynı koşullarda ve farklı sıcaklıklarda yapılan işlemlerde başarıyla tekrarlayabilmektedir.
- Yöntem iyi yüzey kalitesi veren işleme koşullarında daha iyi performans sergilemektedir.



- Hata telafi oranları % 80 civarındadır.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] SPUR, G., HOFFMANN, E., PALUNCIC, Z., BENZINGER, K., NYMOEN, H., Thermal behaviour optimisation of machine tools, **Annals of the CIRP**, 37 (1), 401–405, (1988).
- [2] SUGISHITA, H., NISHIYAMA, H., NAGAYASU, O., SHIN-NOU, T., SATO, H., O-HORI, M., Development of concrete machining 1284 R. Ramesh et al. / **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 40, 1257–1284, (2000). centre and identification of the dynamic and the thermal structural behaviour, **Annals of the CIRP** 37 (1), 377–380, (1988)
- [3] TANABE, I., TAKADA, K., TSUTSUMI, M., Thermal deformation of machine tool structures using epoxy resin concrete, **Proc. 26th Int. MTDR Conf.**, Manchester, UK, (1986), pp. 245–252.
- [4] BRYAN, J., International status of thermal error research, **Annals of the CIRP** 39 (2), 645–656, (1990).
- [5] LIANG, J.C., LI, H.F., YUAN, J.X., NI, J., A comprehensive error compensation system for correcting geometric, thermal and cutting force induced errors, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 13, 708–712, (1997).
- [6] WEEK, M., **Handbook of Machine Tools: Metrological Analysis and Performance Tests**, Vol. 4, John Wiley and Sons, (1984).
- [7] WEEK, M., **Handbook of Machine Tools: Metrological Analysis and Performance Tests**, Vol. 4, John Wiley and Sons, (1984).
- [8] KIM, H. S., JEONG, K. S., LEE, D. G., Design and manufacture of a three-axis ultra-precision CNC grinding machine, **ASME Trans. Journal of Materials Processing Technology**, 71, 258–266, (1997).
- [9] KIM, J. D., KIM, D. S., Development and application of an ultra-precision lathe, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 13, 164–171, (1997).
- [10] CHEN, R. S., fast Calibration and Modeling Of Thermally-induced Machine Tool Errors In Real Machining, **Int. J. Machine Tools & Manufacture**,. vol. 37, no. 2, pp.159-169, (1997).
- [11] YANG, J., YUAN, J., NI, J., Thermal Error Mode Analysis and Robust Modeling for Error Compensation on A CNC Turning Center. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 39 (9):1367-1381, (1999).
- [12] DU, Z. C., YANG, J. G., YAO, Z. Q., XUE, B. Y., Modeling Approach of Regression Orthogonal Experiment Design For The Thermal Error Compensation of A CNC Turning Center, **Journal of Materials Processing Technology**, Volume 129, Number 1, pp. 619-623(5), (11 October 2002).