



## Değişken İlerleme Hızları Kullanılarak Tornalama İşleminde Talaş Kırma Uygulaması ile İlgili Yeni Bir Yaklaşım

*Fatih Hayati ÇAKIR<sup>1\*</sup>, Osman Nuri ÇELİK<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Anadolu Üniversitesi, 26470, Eskişehir / TÜRKİYE

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 26480, Eskişehir / TÜRKİYE

Received: 24.04.2017; Accepted: 15.11.2017

<http://dx.doi.org/10.17776/csj.363671>

**Özet:** Talaşlı imalat işlemlerinde, özellikle tornalama operasyonunda, işlem verimini ve ürün kalitesini belirleyen pek çok unsur mevcuttur. Kesme kuvvetleri, kesme bölgesi sıcaklığı, takım aşınması, üretilen talaş profili gibi unsurlar talaşlı imalat uygulamalarının geliştirilmesinde izlenen temel unsurlardır. Süper alaşım, Titanyum, Alüminyum gibi özellikle havacılık ve uzay sektörü tarafından yaygın olarak kullanılan malzemelerin talaşlı imalatı sırasında karşılaşılan problemlerden birisi de uzun ve sürekli talaş oluşumudur. Bu çalışmada yeni bir metodoloji önerilmiştir. Bu metodolojide talaş kırma işlemi için düşük frekansta titreşimler kullanılmıştır. Bu çalışmada harici bir eleman veya talaş kırıcı formlu insert kullanmaksızın belirli limitler dâhilinde bilgisayarlı sayısal kontrol (CNC) programı yardımıyla talaş kırma işleminin mümkün olduğu anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük frekanslı titreşim, İmalat, Talaşlı İmalat, Talaş kırma, Titreşim destekli imalat.

## A New Approach To Chip Breaking Application In Turning Operation Using Variable Feed Rates

**Abstract:** In machining operations, especially turning operations, there are many factors that determine process efficiency and product quality. Factors such as cutting forces, cutting zone temperatures, tool wear, chip morphology are the basic elements that monitored in the development of machining applications. One of the problems encountered during machining of materials commonly used by the aerospace industry, such as Super Alloy, Titanium, Aluminum, is long and continuous chip formation. A new methodology has been proposed in this study. In this methodology, low frequency vibrations are used for chip breaking. In this study, it is explained that it is possible to break the chip by using the Computer Numerical Control (CNC) program within certain limits without using an external device or chip breaker form insert.

**Keywords:** Chip breaking, Low frequency vibration, Machining, Manufacturing, Vibration Assisted Machining.

### 1. GİRİŞ

Tornalama işlemi en temel ve en yaygın kullanılan imalat yöntemlerinden biridir. Tornalama işleminde özellikle sünek malzemelerde sürekli talaş oluşumu gerçekleşebilir. Sürekli talaş oluşumu talaşın iş parçası etrafına sarılmasına yol

açar [1]. Kesme bölgesinden uzaklaştırılamayan talaş kesme bölgesine kesme sıvısının ulaşmasını zorlaştırır, talaş ile kesme bölgesinden atılması gereken ısının atılamamasına sebep olur bu durum ise takım aşınmasına ve parça yüzeyinin bozulmasına yol açabilir. Talaş kontrolü ve kırılması için uygulanan başlıca teknikler arasında

\* Corresponding author. Email address: [fatihhayaticakir@anadolu.edu.tr](mailto:fatihhayaticakir@anadolu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/csj> ©2016 Faculty of Science, Cumhuriyet University

yüksek basınçlı soğutma sıvısı kullanımı, kesici uca talaş kırıcı formların verilmesi ve talaşın kesme bölgesinden talaşın fiziksel olarak uzaklaştırılması gelmektedir [2,3]. Kullanılan bu metotlar bazı uygulamalarda etkili sonuç vermekle birlikte kullanımları ilave maliyet getirmesi ya da özel donanım gerektirmesi ve her durumda kesin çözüm olamaması sebebiyle kısıtlanmaktadır. Sürekli talaş oluşumunun başlıca nedeni kesici uç ile iş parçasının sürekli olarak temas halinde olmasıdır. Sürekli temas hali talaşın kendiliğinden ya da harici etkenlerle kopuncaya kadar uzamasına neden olur. İş parçası ile kesici ucun temasının sürekli olması önlenerek sürekli talaş oluşumu mekanik olarak önenebilir. Bu işlem için düşük ve yüksek frekansta kontrollü titreşim uygulamaları denenmiştir [4-7]. Bu uygulamalar istenen talaş kırma işlemini sürekli ve etkili şekilde gerçekleştirmiş ancak takım tezgâhlarına adaptasyonu ve mevcut makine parkının etkili kullanımı yönünden uygulamada kısıtlı etki yaratabilmiştir.

Yapılan çalışmada Berling ve Ziegert [3] MTP (Modulated tool path) olarak adlandırdıkları değişken paso derinliği uygulaması ile dış açma işleminde kontrollü talaş oluşumu sağlamışlardır. Bu çalışmada kullanılan değişken paso derinliği uygulaması ile ilgili teorik yaklaşımı kesme işlemine CNC program kullanarak uygulamışlardır. Bu çalışmada 6 inç çapındaki Alüminyum malzemeye Okuma LC-30 torna tezgâhında dış açma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucu farklı pasodaki dış açma uygulamasının dış açma işleminde kontrollü talaş oluşumunu sağladığı ve uygulamanın daha karmaşık dış açma operasyonlarında da kullanılabilmesi yönünde olmuştur. Bu çalışma grubu bir başka çalışmada [8] ise kesme hızının sabit kaldığı durumlarda değişebilecek devir sayısına göre otomatik olarak MTP tekniği ile OPR (Osilasyon frekansının devir sayısına oranı) ve RAF (Devir başına ilerleme sayısının osilasyon genliğine oranı) ifadeleri ile tanımlamışlardır. Yapılan bu tanımlamalara göre belirli limitler dâhilinde istenen formdaki talaşların kırılabilmesi için parametreler üreten bir yazılım geliştirmişlerdir.

Diğer yaklaşımlardan farklı olarak geliştirdikleri model ile yüzey pürüzlülüğü tahmini yapmış ve istenen yüzey kalitesi için bazı bölgelerin daha olumlu sonuç vereceğini iddia etmişlerdir. Yapılan bir diğer çalışmada [9] ise MTP tekniği ile öngörülen titreşim hareketinin sigmoid formu ile hareket tanımlanarak pozisyon, hız, ivme gibi ölçeklerde tezgâhtan alınan cevabın iyileştirildiği belirtilmiştir.

Begind ve Ziegert yaptıkları çalışmada [8] farklı torna tezgâhlarının kabiliyetleri incelenmiş (Haas TL-1, Okuma VTM-80YB ve Okuma LC-30) uygulanan genlik değerleri hangi frekans aralığında sağlanabildiği araştırılmıştır. İlerleme ekseninin uygulayabileceği genlik ve frekans kabiliyeti kullanılan makine ve CNC kontrol sistemine göre değişiklik göstermektedir. Önerilen uygulama için nispeten yüksek bir değer olan 0,01 inç genlikteki titreşim hareketini Haas TL-1 tezgâhı 8 Hz'e kadar koruyabilirken; 0,02 inç genlikteki titreşimi ise 5 Hz'e kadar koruyabilmiştir. Hesaplamalar açısından istenen genlik değerinin düşük tutulması tezgâh kabiliyetinin daha etkili kullanılmasını sağlayabileceği belirtilmiştir.

Mann ve diğerleri [10] yaptıkları çalışmada MAM (Modulated Asisted Machining) adını verdikleri yöntemle kontrollü talaş oluşumu sağlamışlardır. Düşük frekans modülasyonunun işleme Modülasyon Destekli İşleme (MAM) için kontrollü uygulanması, ayrı talaş oluşumunu etkilediği ve kesici uç talaş ara yüzünde şiddetli temas koşullarını bozduğu gösterilmiştir. Bu, yöntem ile daha küçük boyutta parçacık benzeri talaşlar da dâhil olmak üzere farklı morfolojilere sahip talaşların oluşturulması deneysel olarak sağlanmıştır. Ayrıca işlenmiş yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Yöntemin faydaları arasında gelişmiş talaş kontrolü ve yönetimi, geliştirilmiş yağlama, takım aşınmasının azaltılması ile talaş kaldırma oranlarının artması gösterilmiştir. Bu çalışmada delik delme ve tornalama işlemlerinde MAM'ın prototip uygulaması yapılmış ve sonuçlar raporlanmıştır. Bu çalışmada titreşim üretebilmek için harici bir ünite ve kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu

uygulama pratikte tezgâh kabiliyeti ile çıkılması zor olan frekans (240Hz) ve genlik (0,2 mm) değerlerine ulaşmayı mümkün kılmış ancak harici donanım gerektirdiği için pratik uygulamalar için kullanımını kısıtlamıştır. Bu çalışma ile ilgili alınan patent de bulunmaktadır [11].

Yapılan bir diğer çalışmada Citizen firması tarafından geliştirilen [12] düşük frekanslı işleme tekniği ile AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu uygulamada 10 mm çapındaki malzeme yaklaşık 3752 d/dk hızında ve dört farklı ilerleme değeri için (0,005-0,01-0,02-0,03 mm/dev) tornalama işlemi yapılırken titreşim uygulanmıştır. Bu işlem için kullanılan titreşim frekansı 93,8 Hz olarak bildirilirken titreşim genliği kullanılan ilerleme değerine oranı 1,5 olacak şekilde işlem yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca kesim sırasında kesme kuvveti ölçülmüş titreşim ile kesimde karşılaşılan maksimum kuvvetin geleneksel yöntemle göre fazla olduğu ancak ortalama kuvvetin bu yöntem ile daha düşük olduğu belirtilmiştir. Maksimum kesme kuvvetindeki artışın ise titreşim hareketi ile ilerlemenin aynı yönde olduğu yani gerçek ilerleme değerinin maksimum olduğu noktada gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu yöntem ile de istenen formda talaş üretiminin sağlandığı raporlanmıştır. Citizen firmasının geliştirdiği sistemde Q (Devirsayısı/titreşim frekans oranı) ve D (İlerleme/titreşim genliği) ifadelerinden bahsedilmiştir. Geliştirilen sistemde Q ve D değerleri belirlenerek bu değerlere göre CNC program oluşturulmuş ve istenen titreşim ilerleme hareketi servo motor vasıtasıyla sağlanmıştır. Bu çalışmada raporlanan 93,8 Hz'lik frekans değeri daha önceki çalışmada [8] raporlanan değerlerin çok üzerindedir. Bu kapasitenin tezgâh yatak tasarımı ve kullanılan servo motordaki değişim ile sağlanabildiği düşünülmektedir.

Başka bir çalışmada ise havacılık sektöründe yaygın kullanılan Alüminyum malzemenin (Al2024) delik delme işleminde titreşim uygulaması yapılmıştır [13]. Çalışmanın 2 kesme ağızlı matkap için geliştirilen kinematik modelin doğrulanması amacıyla yapıldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada 6,37 mm çaplı 2 ağızlı WC

matkap kullanılmıştır. Çalışmada model ile öngörülen talaş şekilleri elde edilen talaş şekilleri ile belirli bir korelasyon içinde olduğu belirtilmiştir. Ancak hesaplanan talaş kalınlıklarına kıyasla deneysel olarak elde edilen talaş kalınlıklarının %15-30 arasında farklı olduğu belirtilmiş bu farklılık ise talaşın deformasyonuna bağlanmıştır. İhtiyaç duyulan titreşim hareketi ise Mitis firması tarafından geliştirilen "Sine Holing" takım tutucu ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada frekans/devir sayısı oranı sabit olarak 1,5 alınmış genlik değerleri ise 0,01-0,2 mm arasında farklı değerler için deneme yapılmıştır.

Ti-6Al-4V ile yapılan çalışmada düşük titreşim kullanılarak [14] 100 m/dk kesme hızı, 1 mm kesme derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde kuru koşulda deneme yapılmıştır. Kullanılan iş parçasının başlangıç çapı 100 mm olarak bildirilmiştir. Çalışmada titreşim nümerik programlama (NC) program yardımıyla sağlanmıştır. Düşük frekanslı titreşimlerin kesme kuvvetlerine ve takım aşınmasına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre düşük frekanslı titreşim Titanyum alaşımlarının kuru işlenmesinde krater aşınmasını önemli ölçüde azaltmış yaklaşık 1/3'ü değerine düşmüştür. Krater aşınmasının azalması takım ile kesme bölgesi arasında temasın titreşim ile kesintiye uğraması sırasında takımın soğumak için zaman bulmasına ve Titanyumun yüzeyindeki oksit filminin kesici ucun adezyonunun azaltılmasına bağlanmıştır. Titreşimin aşınmaya etkisinin ise doğrudan titreşim karakteristiği ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla takım aşınmasını azaltmak için hava kesimi bölgeleri ve sürelerinin düzenlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Kesmede geçen süre arttıkça geleneksel yöntemdeki takım sıcaklıklarına yaklaşıldığı raporlanmıştır.

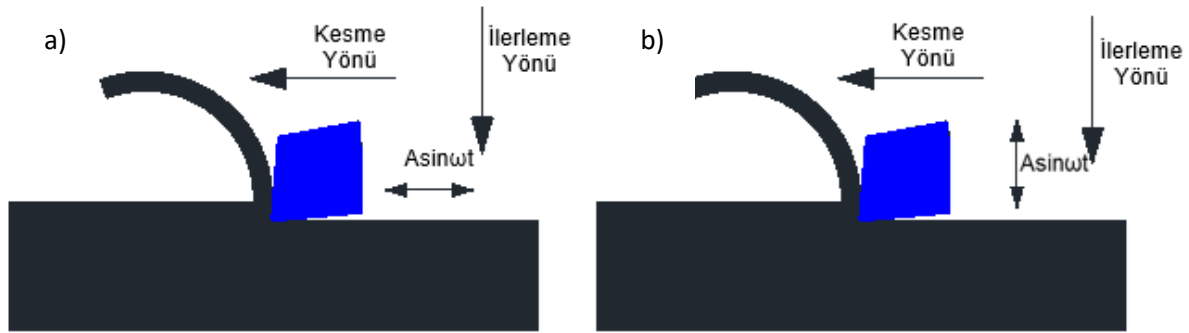
Bu çalışmada ise CNC kontrollü geleneksel tornalama tezgâhlarında uygulanabilecek bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda ilerleme yönünde düşük frekanslı titreşim uygulanarak hava kesim bölgeleri oluşturulmuş ve talaş kırma işleminin bu şekilde yapılabileceği önerilmiştir. Bu yaklaşım modellenmesine uygun CNC programlar geliştirilerek uygun tezgâh ve donanımlar ile harici

bir donanıma ihtiyaç olmaksızın kontrollü talaş oluşumunun sağlanabileceği öngörülmektedir.

## 2. MATERYAL METOT

Nümerik kontrollü CNC programda genellikle başlangıç konum koordinatı ve bitiş koordinatı tanımlanır. Bu koordinatlar arasındaki ilerleme hareketi ise ilerleme değeri olarak programlanır. Modern uygulamalarda, konik kesim gibi, kesme hızının korunabilmesi için dakikadaki ilerleme değeri SFM (surface feed per minute) değeri CNC programda tanımlanır ve anlık olarak fener milinin

dönmesi gereken değer ise tezgâh kontrol sistemi tarafından hesaplanarak uygulanır. Bu sayede kesme sırasında istenen devir sayısının sağlanamadığı durumlarda ilerleme de devir sayısı ile uyumlu olarak hareket ettiği için nihai üründe istenen ölçülerin elde edilmesi mümkün olur. Şüphesiz ki CNC program ile yapılması istenen hareketler tezgâh kabiliyetleri ile kısıtlıdır. Bu çalışmada verilecek denklemler ve önerilecek hareketlerin de tezgâh kabiliyetleri dâhilinde limitleri olacaktır. Genel olarak işlem hızı arttıkça ve iş parçasının çapı küçüldükçe önerilen hareketin yapılması zorlaşacak belirli limitlerin üzerinde ise mümkün olmayacaktır.



Şekil 1. Düşük Titreşim ile işleme sınıflandırılması a) Kesme yönünde b) İlerleme yönünde.

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t) + Vt \quad (1)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

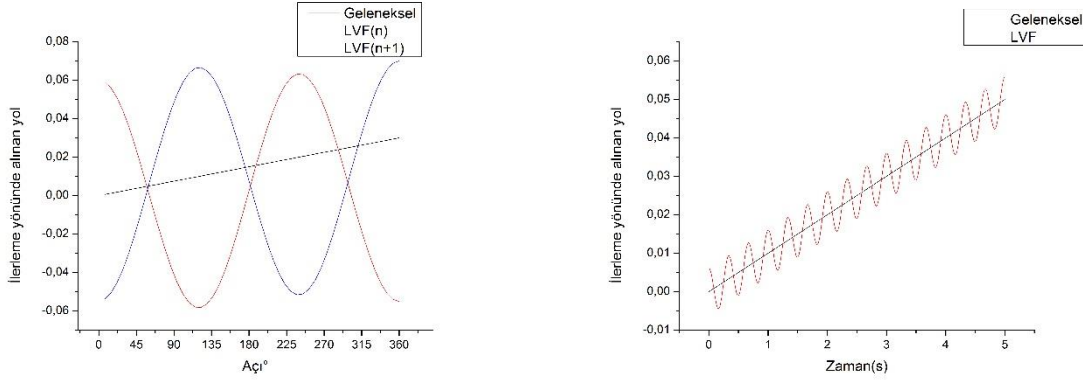
Tornalama işleminde takımın aldığı yol (1) denklemi ile ifade edilebilir. Bu denklemde titreşim hareketi bir sinüs fonksiyonu olarak tanımlanırsa;  $x(t)$  takımın anlık konumunu,  $A$  titreşimin genliğini,  $f$  titreşim frekansını,  $t$  zamanı  $\omega$  açısal frekansı,  $V$  ise birim zamandaki kesme/ilerleme hızını ifade etmektedir. Geleneksel işleme de titreşim olmadığı için (1) denklemdeki sinüs denklemi sifira eşit olur ve takım hareketi sadece kesme/ilerleme hızıyla orantılıdır. Titreşim destekli imalatta ise titreşim takım hareketini harmonik hareket şeklinde etkilemektedir. Şekil 1’de titreşim destekli imalat işlemleri temsili olarak gösterilmiştir.

### 2.1. Yaklaşım Sürekli Osilasyon Hareketi

Talaş kırma işlemini sağlamanın yollarından birisi ilerleme ekseninin sürekli olarak devir sayısı ile belirli bir orantıdaki frekansta osilasyon hareketi yapmasıdır. Titreşimin genliğinin ise uygulanan ilerleme değeri ile orantılı olması gerekmektedir. Talaş kırmak için üretilmesi gereken titreşimin frekans ve genlik değeri belirlenirken tezgâh kabiliyetleri, işlem parametreleri ve iş parçası malzemesi mutlaka göz önüne alınmaktadır. Şekil 2’de izafi olarak takım ucu hareketi açısal konuma göre gösterilmiştir. Geleneksel işleminde ilerleme ekseninde alınan yol 1 tam turda verilen ilerleme değeri kadardır. İlerleme grafiği açısal olarak tekrarlanacak şekilde çizilirse geleneksel işlem düz bir çizgi ile ifade edilebilir. Osilasyon hareketi ise belirlenen genlik değeri doğrultusunda geleneksel yöntem eksenini etrafında sinüzoidal dalga oluşturacak şekilde salınım yapmaktadır. Bu

yöntemde n. devirde yaklaşık  $125^\circ$  de maksimum ilerleme gözlenirken yaklaşık  $250^\circ$  de minimum ilerleme gözlenir. Bir sonraki turda yani n+1. turda ise  $125^\circ$  de minimum  $250^\circ$  de ise maksimum ilerleme gerçekleşir. Bu durumda n. kesim yapılıp n+1. kesime geçildiğinde talaş kalınlığı geçiş bölgelerinde sıfıra doğru ulaşacak ve hava kesimi

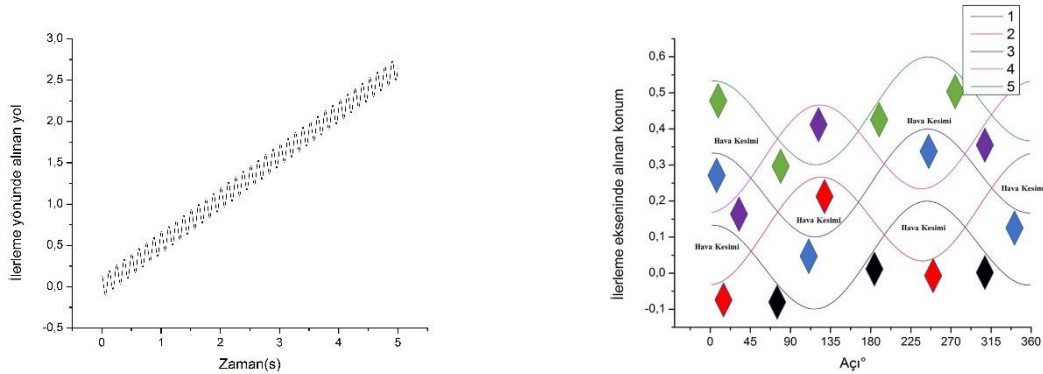
gerçekleştirilecektir. Bu bölümlerde talaş kırılması gerçekleşecektir bu parametre seti için talaş 1 turda 2 kere kırılacaktır. Elde edilen talaş şekli deformasyonlar ihmal edilirse yarım su damlası şeklinde olacaktır.



Şekil 2. 120 d/dk 0,005" ilerleme 0,003" genlik 30 Hz Frekans için örnek durum.

Elde edilecek talaşın boyu parça çapı ile belirlenecektir. Çapın büyük olduğu durumlarda frekans artırılarak daha küçük talaşlar elde edilebilir. Şekil 3'de oluşan hava kesimleri ile talaş kırılma bölgeleri görülmektedir. Şekil 3'de kesici ucun hareketi açısal konuma göre verilmiş hava kesimi olan bölgeler gösterilmiştir. Şekil 3'de gösterilen harekette dikey eksen tornalama

işleminde ilerleme yönünü temsil etmektedir. Eksenin sıfır noktası kesime başlama bölgesini ifade etmektedir. Bir başka deyişle dikey eksen eğrilerin altında kalan bölüm boşluğu üstünde kalan kısım ise kalan iş parçasını ifade etmektedir. Sağdaki şekilde kesici ucun hareketi ve hava kesimi bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Osilasyon hareketinde talaş kırılma bölgeleri.

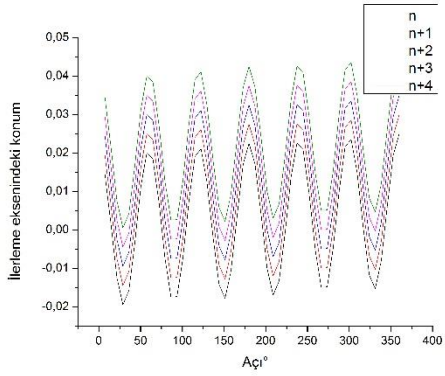
Sürekli olarak osilasyon hareketi ile talaş kırma işlemi ancak belirli değerlerde ve kendini tekrar eden durumlarda uygulanabilmektedir. Bu yöntemin avantajı osilasyon hareketinin devir sayısına oranlanmasının nispeten daha kolay

olması sebebiyle programlama ve uygulama kolaylığı sağlamasıdır. 250 SFM referans kesme hızı olarak değerlendirilirse bu uygulamanın yapılabileceği parça çapı 0,8" olması durumunda talaşın bir turda 15 kere kırılabilmesi için gerekli

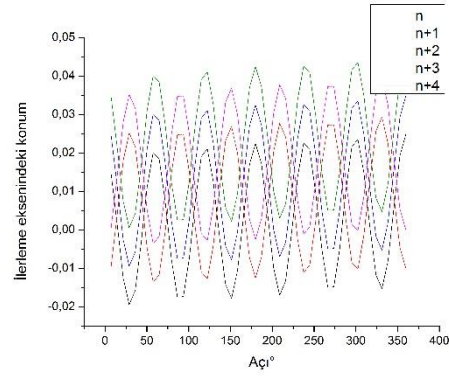
olan frekans değeri yaklaşık 150 Hz olmalıdır. Bu değer geleneksel tezgâh kabiliyetlerinin üzerinde olması muhtemeldir. Ancak kesme hızının sabit kaldığı durumda daha büyük çaplı parçalar için daha düşük devirlerde işleme yapılabilir. Bu durumda 250 SFM'lik kesme hızı sabit kalarak tezgâh kabiliyeti yaklaşık olarak 10 Hz olarak kabul edilirse 12" den daha büyük parçalarda istenen boyutlarda talaş elde etmek mümkündür. Yaklaşık olarak 25°'lik yaylarda talaş kırma işlemi yapılmış olacaktır.

## 2.2. Yaklaşım Osilasyon ile Birlikte Öteleme Hareketi

Sürekli osilasyon hareketi ile talaş kırmak mümkün olmak ile birlikte ancak belirli devir sayısı frekans



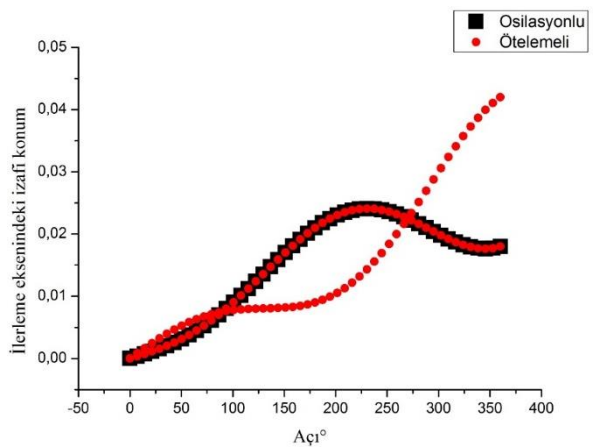
oranlarında bu yöntem etkili olabilmektedir. Bu durumda talaş kırma uygulaması için daha az alternatif sunmaktadır. Özellikle tezgâh kabiliyetlerinin kısıtlı olduğu uygulamalar için esnekliği azaltmaktadır. Bu durumlar için osilasyon hareketi ile birlikte fonksiyona bir faz farkı ilave ederek ara değerler için kullanım mümkün hale gelmektedir. Örneğin Şekil 4'te 1200 d/dk ve 120 Hz frekans değerinde osilasyon hareketi için ortaya çıkan durum solda, faz farkı ile tanımlanan hareket ise sağda verilmiştir.



Şekil 4. Osilasyon hareketi için RPM frekans oranı 1/6 oranı olduğundaki durum.

Bu durumda ilerlemedeki değişim açısal pozisyonları çakıştığı için hava kesimi yapma imkânı bulunmayacak bu nedenle de talaş kırma işlemi gerçekleştirilemeyecektir. Bu işleme öteleme hareketi eklendiği durumda ise hava kesimleri oluşturularak talaş kırma fonksiyonu gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu işlem yapılırken hareketin tanımlandığı sinüs fonksiyonuna bir faz farkı tanımlanacak ve bu faz farkı ile kesişimler sağlanarak talaş kırma işlemi gerçekleştirilecektir. Dolayısıyla hareketin tanımlanmasında kullanılan fonksiyon tek ve çift dönme sayıları için farklı olarak tanımlanacaktır. Osilasyon hareketi devir sayısının tam bölenlerinde kesişim durumu yaşamadığı için faz farkı tanımlaması gerekli olmaktadır. Şekil 5'te devir frekans oranı 60 olduğu durumda osilasyon hareketi kendini

tekrarlamakta öteleme hareketi ile talaş kırma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.



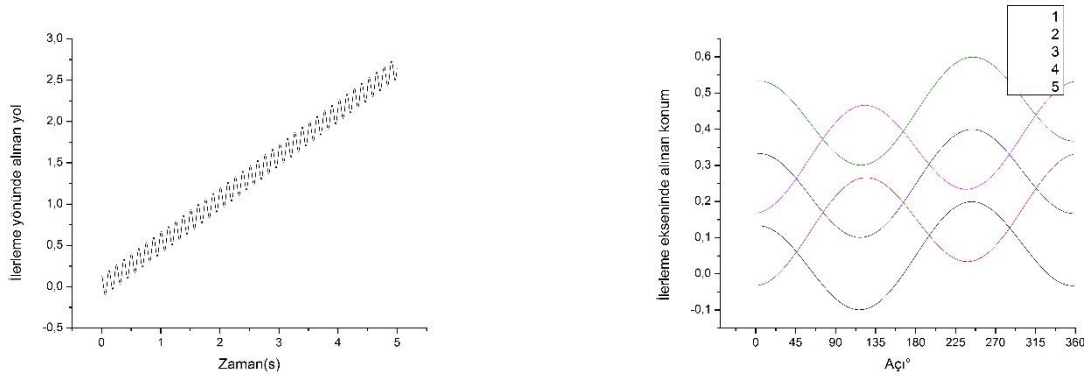
Şekil 5. 1200 d/dk 0,005" ilerleme 0,001" genlik 20 Hz Frekans için örnek durum.

### 2.3. Örnek Uygulama

Literatürde yapılan Ti-6Al-4V ile yapılan çalışmada düşük titreşim kullanılarak [14] 100 m/dk kesme hızı, 1 mm pasoda ve 0,1 mm/dev ilerleme değerinde deneme yapılmıştır ve ilk iş parça çapı 100 mm olarak bildirilmiştir. N, d/k cinsinden devir sayısını, V m/dk cinsinden kesme hızını, D ise iş parçası çapını ifade etmek üzere; kesme hızı ile devir sayısı arasındaki formül:

$$N = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3)$$

Denklem kullanılarak devir sayısı yaklaşık olarak 318 dev/dk yani 5,3 dev/s olarak bulunur. Eğer talaşı 3 noktadan kırılmak istenirse ihtiyaç duyulan titreşimin frekans değeri yaklaşık 8 Hz olarak hesaplanır. Bu durum için elde edilen durum şekil 6 da gösterilmiştir.



Şekil 6. 318 d/dk 0,1 mm/dev ilerleme 0,025 mm genlik 8 Hz Frekans için örnek durum.

Eğer talaş boyutunun mevcut uygulama için büyük olduğu düşünülürse 40 Hz'lik frekans kullanılarak 15 noktadan talaş kırma işlemi sağlanabilir. Bu işlemler için osilasyon hareketi yeterli olacaktır. Tezgâh kabiliyetinin 8 Hz'lik değeri sağlamayacağı durumda ise osilasyon ile birlikte öteleme hareketi kullanılarak talaş 2 noktadan kırılarak yaklaşık 5 Hz'lik frekansa ihtiyaç duyulur. Titreşimin genliğinin belirlenmesinde ise kullanılan ilerleme hızı dikkate alınmalıdır. Çalışmada 0,1 mm/dev ilerleme hızının çok fazla artırılamayacağı ön görülerek genlik değeri 0,025 mm olarak hesaplanmıştır.

### 3. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında aktarılan yöntem malzemelerin deforme olması ya da ince talaşların

esnemesi durumları farklı malzeme uygulamaları için farklılıklar gösterebileceği unutulmamalıdır. Özellikle titreşim genliği çalışılan malzemeye göre belirlenmeli mevcut takım ve tezgâh limitleri düşünülmelidir. Ayrıca talaş kırılma sayısı işlem yapılan parçanın çapı ve istenen talaş boyutuna göre belirlenmelidir. Pratik olarak kırılan talaşın parça etrafına sarılmaması için 1 tam turdan önce talaş kırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Bu konudaki bir başka kısıtlayıcı unsur da tezgâhın servo motor kabiliyetidir. Yüksek hız gerektiren uygulamalarda ise harici titreşim kaynakları kullanmak daha uygun olacaktır. Bu anlamda önerilen model ile osilasyon ile öteleme hareketi için talaş kırılma sağlanan sonuç alınan değerler, devir sayısı titreşim frekans oranı ve talaş kırılma sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Öteleme ve Osilasyon hareketinde sonuç alınan değerler.

Dakikadaki devir ile frekans oranı	Saniyedeki devir sayısı/frekans oranı	Talaş kırılma sayısı	Yöntem
2	30	60	Osilasyon+Öteleme
3	2	40	Osilasyon+Öteleme
4	15	30	Osilasyon+Öteleme
5	12	24	Osilasyon+Öteleme
6	10	20	Osilasyon+Öteleme
8	7,5	15	Osilasyon
10	6	12	Osilasyon+Öteleme
12	5	10	Osilasyon+Öteleme
15	4	8	Osilasyon+Öteleme
16	3,75	7-8	Osilasyon
20	3	6	Osilasyon+Öteleme
24	2,5	5	Osilasyon
30	2	4	Osilasyon+Öteleme
40	1,5	3	Osilasyon
60	1	2	Osilasyon+Öteleme

Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda genel olarak titreşim frekansı üzerinde durulmuştur. Bu yöntemde ilerleme hızının ortalama değerleri geleneksel yöntem ile aynı şekilde olacak şekilde kurgulanmıştır. Bu açıdan ele alındığı zaman yapılan işlemin talaşlı imalat süresine etkisi olması beklenmemektedir. Titreşim genliği değeri ise belirli işlem şartları göz önüne alınarak çıkarılabilecek maksimum ilerleme değeri göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bu çalışmada aktarılan modelin deneysel olarak çalışılarak parametre optimizasyonu yapılması durumunda imalat süreçlerini iyileştireceği düşünülmektedir.

#### 4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Talaşlı imalatta talaş kırma işlemi için bu çalışmada önerilen yöntem kullanılarak daha kontrollü talaşlar elde edilmesi mümkündür. Önerilen yöntem ve metodoloji tornalama işlemi göz önüne alınarak aktarılmıştır, düşük frekanstaki titreşimin ilerleme yönünde uygulanması önerilmiştir. Bunun yanında düşük frekanslı titreşimlerin paso yönünde kullanımının özellikle

diş açma ve kanal kesimi gibi uygulamalarında fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Kullanılan model tornalama işleminin yanı sıra delik delme, frezeleme gibi uygulamalarında da kullanılabilir. Özellikle uzun talaş oluşumunun sorun olduğu derin delik delme uygulamalarına da uyarlanarak kullanımının faydalı olacağı düşünülmektedir. Talaş yönetimi, talaşlı imalatın pek çok farklı uygulamada karşılaşılan bir sorundur. Bu çalışmada önerilen model ile düşük frekanslı titreşimlerin harici donanıma veya özelleştirilmiş takımlara ihtiyaç duyulmaksızın yığıntı talaş oluşmasını önlemede etkili bir araç olabileceği gösterilmiştir. Bu yöntemin toplam işleme zamanına etkisi yapılacak denemelere göre belirlenmelidir. Teorik olarak işleme zamanında artış olacağı düşünülmezken uygulanan titreşim hareketinin yataklarda ve servo motorda ömrüne etkisi de ayrıca değerlendirilmelidir. Bu yaklaşımın CNC programlama tekniklerine uyarlanarak rutin bir CAM(Computer Aided Manufacturing) işlemi haline getirilebilir ve parçalı talaş oluşumu kontrollü ve sürekli olarak sağlanabilir.



**KAYNAKLAR**

- [1]. Stephenson D.A., Agapiou J.S., *Metal cutting theory and practice*, 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis, 2006.
- [2]. Smith G.T. *Cutting tool technology: industrial handbook*. London: Springer, 2008.
- [3]. Berglind L. ve Ziegert J., “Modulated Tool Path (MTP) Machining for Threading Applications”, *Procedia Manuf.*, c. 1, ss. 546–555, 2015.
- [4]. Balevicius G., Ostaševičius V., Jurėnas V., Baskutienė J., Zakrasas R. “Investigation of vibration assisted drilling prospects for improving machining characteristics of hard to machine materials at high and low frequency ranges”, *Mechanics*, c. 22, sayı 2, Nis. 2016.
- [5]. Chhabra P.N., Ackroyd B., Compton W.D., Chandrasekar S. “Low-frequency modulation-assisted drilling using linear drives”, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, c. 216, sayı 3, ss. 321–330, Mar. 2002.
- [6]. Debnath K., Singh I. “Low-frequency modulation-assisted drilling of carbon-epoxy composite laminates”, *J. Manuf. Process.*, c. 25, ss. 262-273, Oca. 2017.
- [7]. Joshi R.S., Singh H. “Characteristic studies of brass particulates fabricated by modulation assisted machining”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, c. 73, sayı 9-12, ss. 1533-1542, Ağu. 2014.
- [8]. Berglind L., Ziegert J. “Chip Breaking Parameter Selection for Constant Surface Speed Machining”, 2013, s. V02BT02A039.
- [9]. DiMarco C., Ziegert J.C., Vermillion C. “Exponential and sigmoid-interpolated machining trajectories”, *J. Manuf. Syst.*, c. 37, ss. 535-541, Eki. 2015.
- [10]. Mann J.B., Guo Y., Saldana C., Compton W. D., Chandrasekar S. “Enhancing material removal processes using modulation-assisted machining”, *Tribol. Int.*, c. 44, sayı 10, ss. 1225-1235, Eyl. 2011.
- [11]. Mann J.B., Chandrasekar S., Compton W.D. “Tool holder assembly and method for modulation-assisted machining”, US7587965 B2.
- [12]. Miyake A., vd., “Effect of low frequency vibration applied to feed direction on turning process”, 2016, ss. 356-358.
- [13]. Pecat O. ve Meyer I., “Low Frequency Vibration Assisted Drilling of Aluminium Alloys”, *Adv. Mater. Res.*, c. 769, ss. 131–138, Eyl. 2013.
- [14]. Sugihara T., Enomoto T. “Ultra-Low-Frequency Vibration Assisted Machining of Ti-6Al-4V Alloy”, *Int. J. Autom. Technol.*, c. 10, sayı 4, ss. 647-653, Tem. 2016.