

# Al-7075 Malzemesinin Freze Tezgâhında Delme İşleminde Farklı Devir Ve İlerleme Hızları İçin Oluşan Titreşimlerin İncelenmesi

C. Sevim, O. Genc

**Abstract:** This study investigates the vibration of Al-7075 material during the drilling process by CNC milling machine using TIN covered drilling bit. A triaxial acceleration sensor is used for vibration tests. Drilling processes are made on same block for two different rate of feed, five different number of revolution and without cooling liquid. The same series drilling bits are used in the course of each drilling processes. Vibration values which occur during the drilling process under different conditions are investigated and optimum vibration values are determined as 100 mm/min rate of feed and 1250 rev/min.

**Index Terms:** Al-7075, Vibration Analysis, Drilling Process, Titanium Nitride

## 1 GİRİŞ

Talaşlı imalat yıllardır önemini korumakta olup, bu alanda yapılan çalışmalar ise imalat firmaları tarafından yakinen takip edilmektedir. Her imalatın bir maliyeti ve bu maliyeti belirleyen faktörler vardır. Kesici takım ve iş parçası maliyeti talaşlı imalattaki en önemli faktörlerden sayılabilir. Dolayısıyla üretim maliyetini düşürüp, ürünü daha ucuza mal etmek için bu faktörleri dikkate almak gerekmektedir. Kesici takımın daha uzun ömürlü olabilmesi ve iş parçasının istenilen kalitede üretilerek hammadde israfının önlenmesi için, kesme performansı ve şartlarını optimize etme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için, kesici takımların ömrüne tesir eden etkenler ile iş parçasının kalitesinin belirlenmesinde etkili olan etkenler yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Kesici takımın ömrünü ve kesme şartlarını etkileyen en önemli etkenler olarak sıcaklık, kesme kuvvetleri ve titreşim söylenebilir. Talaşlı imalat işlemleri esnasında kontrol edilmeyen titreşimler iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının sağlanamamasına, kesici takımın erken aşınmasına ve kırılmasına, takım tezgâhı bileşenlerinin zarar görmesine ve yüksek gürültüye neden olmaktadır. Bu çalışmada kesici takım olarak TIN kaplanmış matkap uçları kullanılmıştır. Dolayısıyla matkapla delik delme esnasında oluşan titreşim değerleri incelenerek farklı kesme şartlarında deneyler yapılmıştır. İş parçası olarak ise; hafif olması, mukavim ve kolay işlenebilir olmasından dolayı Al-7075 malzemesi incelenmiştir. Al-7075'in delinmesi esnasında oluşan titreşime; seçilen devir sayısı ve kesme hızının etkisi araştırılmıştır.

## 2 LİTERATÜR TARAMASI

Talaşlı imalat işlemleri esnasında oluşan titreşim genel olarak zorlamalı titreşim (forced vibration) ve kendiden tahrikli titreşim (self-excited vibration) olmak üzere iki kısma ayrılır. Zorlamalı titreşim, genelde takım tezgâhının tahrik sistemlerinden, bileşenlerinin dengesizliğinden, yanlış ayarlamalardan ve motor ve pompalardan kaynaklanan bazı periyodik kuvvetler sonucu gerçekleşir. Frezeleme işlemi esnasında veya üzerinde kama kanalı olan bir milin tornalanması esnasında kesici takımın periyodik olarak kesme yapması neticesinde zorlamalı titreşim oluşur. Kesme parametrelerini ve kesici takım geometrisini değiştirmek zorlamalı titreşimi azaltmada etkin metotlardan bir tanesidir. Genel olarak tırlama (chatter) olarak da isimlendirilen kendinden tahrikli titreşim talaş kaldırma işlemi ile takım tezgâhı yapısının etkileşiminden kaynaklanır. Kendinden kaynaklı titreşim çoğunlukla çok yüksek bir genliğe sahip olup iş parçası yapısındaki düzensizliklerden, oluşan talaşın şeklindeki değişikliklerden (testere dişi görünümünde bir talaş) veya takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme şartlarının değişmesinden kaynaklanır. Kendinden tahrikli titreşimler genel olarak sistemin dinamik rijitliğinin artırılması ve sönümleme ile kontrol edilebilir. Takım tezgâhları farklı frekanslarda farklı rijitliklere sahip olduğu için kesme parametrelerindeki değişim kendinden tahrikli titreşimi etkiler [1]. Yusuf Altıntaş ve ark. delme sürecinin 3 boyutlu zaman simülasyonu modelini katı gövde kinematiği ve matkabin iki yanal, eksenel ve burgusal titreşimlerini kullanarak incelemiştir. Kullanılan aletteki delme hatalarından kaynaklanan, açılacak deliğin aşırı büyümesi doğru bir şekilde tahmin edilmiş ve varılan sonuçların yazılı literatürdekiler ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Matkaptaki geriye dönme mekaniği anlatılmış ve genel dönme titreşimleri sırasındaki keskin kenar izleri gösterilmiştir[2]. Başka bir çalışmada, delme süreci içerisinde burgusal-eksenel titreşimlerin simülasyonuna olanak sağlayan bir zaman domeninde modeli sunulmaktadır. Bu modelleme yenilenmiş kesme kuvveti ve zamanın bir fonksiyonu olarak alet titreşimlerini ve makine delik topografisini ön görebilmektedir. Bir mekanik kuvvet modeli, diğer yaklaşımlara nazaran daha doğru bir kesme kuvveti sağlamak için kullanılır. Simule edilmiş kesme kuvvetinin ve titreşimsel yüzey sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Zaman domen modelini boşaltma sürecinin etkilerini içermediğinden delme sürecinin kararlılığını da doğru bir şekilde tahmin edememektedir[3,4]. Simon ve

- C.Sevim is currently pursuing masters degree program in mechanical engineering at Nigde University, Turkey, E-mail: [caqlar.sevim@nigde.edu.tr](mailto:caqlar.sevim@nigde.edu.tr)
- O.Genc is currently pursuing doctora degree program in mechanical engineering at Nigde University, Turkey, E-mail: [omergenc@nigde.edu.tr](mailto:omergenc@nigde.edu.tr)

arkadaşlarının, analitik bir çapak yükseklik modeli, hem geleneksel delme işleminde hem de titreşim destekli delme işlemi için uygundur. Sunulan model, çapak oluşumuna itme kuvvetinin sadece pozitif kısmının etki ettiği hipotezini de doğrulamaktadır. Deneysel sonuçlar ile modelin sonuç tahminleri kıyaslandığında, geliştirilen modelin ne kadar yüksek hassaslık ile çalıştığı görülmektedir. Titreşim destekli delme işlemindeki tüm test koşulları için, deneysel çapak yüksekliğinin ortalama değerinin model tahminlerinden (+/-) %10 oranında ayrıştığı ve en kötü durumda bu hata oranının (+/-) %17 olduğu saptanmıştır. Kim ve Dornfeld' in geleneksel delme yöntemi ile kıyaslandığında önerilen modelin doğruluğunun %36 oranında daha fazla olduğu görülmüştür[5]. Arvajah ve İsmail, bükülme titreşim modundan kaynaklanan matkap kararsızlığı için yeni bir model üzerinde çalışmıştır. Bu model, çalışılan parça durağan haldeyken aletin dönmesiyle ilgili bir topaç etkisi içerir. Döngüsel hızdan çıkartı frekansına doğru olan bir geri beslemenin oluşturulmasını sağlamak amacıyla, kararlılık loblarını ölçmek için iteratif bir prosedür oluşturmak bu sürecin bir parçasıdır. Döngüsel hız arttıkça oluşturulmuş loblar azalan bir minimum kararlılık trendi sergilerler. Bu noktayı vurgulamak adına, bu çalışmada kullanılan her iki matkabın çok yüksek hızlara çıkması için ilave kararlılık lobları tesis edilmiştir. Topaç etkinin lobları daha genişlettiği ve aynı zamanda minimum kararlılığı daha azalttığı görülmüştür. Lob tabanlarındaki yüksek hızların çok düşük seviyelere düşmesi çok önemli bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır[6]. Messaoud ve arkadaşları, çok değişkenli eksponansiyel ağırlıklandırılmış hareketli ortalamanın (multivariate exponentially weighted moving average (MEWMA)) kontrol tablosunda  $\lambda=0.3$  seçildiğinde en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Teknik olarak, uygun bir  $\lambda$  parametresi seçme prosedürüne ihtiyaç duyulmaktadır. Delme işleminde aletin deliğe tamamen girmesi haricindeki tüm fiziksel değişiklikler tespit edilmiştir. Ayrıca, kararlı delme sürecinden çıkartılı titreşim sürecine dönüşümün başlangıcı çabucak saptanmıştır[7].

### 3.MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Kapsam

Bu çalışmada, Al-7075 malzemesinin, CNC freze tezgâhında delme süreci içerisinde meydana gelen titreşimleri 3 eksenli ivme sensörü (Fig.1) kullanılarak elde edilmiştir. Delme ile (talaş kaldırarak) işleme esnasında kesme kuvvetlerinin etkisiyle meydana gelen titreşimlerin analiz edilmesi için kullanılacak gerçek verilerin elde edilmesi amacıyla bir dizi delme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan malzeme, donanım, işleme parametreleri, takım tezgâhi vb. özellikler aşağıda ele alınmıştır.



Fig.1. 3 Eksenli İvme Sensörü

#### 3.2 İş Parçası Malzemesi

Deneysel çalışmalarda, iş parçası malzemesi olarak tüm özellikleri (kimyasal bileşim, mekanik/fiziksel, ısıl, işlenebilirlik özellikleri vb.) iyi bilinen bir malzeme kullanılması planlanmıştır. Bunun amacı deneysel sonuçların doğru yorumlanması ve literatürdeki verilerle karşılaştırılabilmesidir. Bunun için özellikleri iyi bilinen ve literatürde yaygın kullanılmış ve işlenebilirlik özellikleri oldukça iyi olan AL-7075 alüminyum malzeme kullanılmıştır(Fig.2). Deneysel çalışmalarda kullanılan AL-7075 malzemenin genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo.1 Al-7075 Malzemesinin Genel Özellikleri

Al-7075	Nominal Kompozisyon %	Elastik Modül $\text{MPa} \cdot 10^3$	Yoğunluk $\text{g/cm}^3$	Genleşme Katsayısı $20-100^\circ\text{C}$ $10^{-6} \text{K}^{-1}$	Isıl İletkenlik $100^\circ\text{C}$ $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$	Özdirenc $\mu\Omega\text{m}$
Zn	5,7					
Mg	2,6	72	2,8	23,5	130	5,7
Cu	1,6					
Cr	0,25					

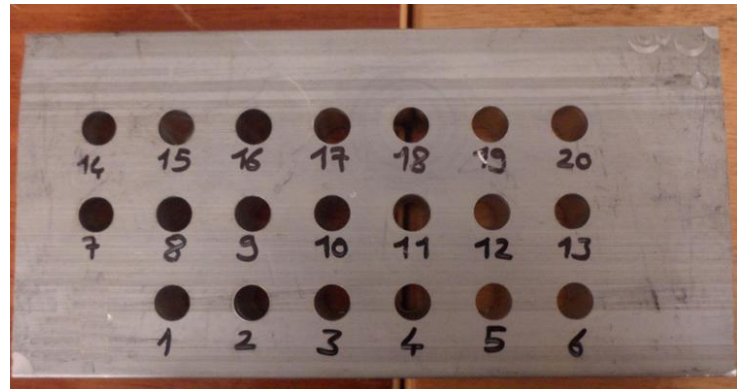


Fig.2 Deneyde Kullanılan İş Parçası

#### 3.3 CNC Freze Tezgâhi

Deney düzeneğinde kullanılan CNC tezgâhi; üç eksenli lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç

birimlerinde ISO format programlama yapabilen özellikleri Tablo 2' de verilmiş olan FANUC-OM kontrol ünitesi TAKSAN TMC-500V freze tezgâhidir.(Fig.3)



Fig.3 Deneyde Kullanılan Freze Tezgâhi

Tablo.2 CNC Freze Tezgâhinin Teknik Spesifikasyonları

Model No	TMC-500V
Tabla çalışma yüzeyi	650 x 450 mm
Hareket sınırları	X : 500 mm Y : 410 mm Z : 550 mm
İş mili motor Gücü	60-6000 dev./dak.(rpm)
Tabla yükleme kapasitesi	400 kg
Tezgah zemin alanı	750 x 400 mm
Makine ağırlığı	3000 kg

### 3.4. Deneyde Kullanılan Kesici Takımlar

Deneyel çalışma TS ISO 235, HSS yüksek hız çeliği, TIN kaplı, uç açısı 135°, 1412/C çapraz uç bilemeli, çap toleransı h8, sağ kesme yönlü matkap uçları kullanılmıştır(Fig.4).

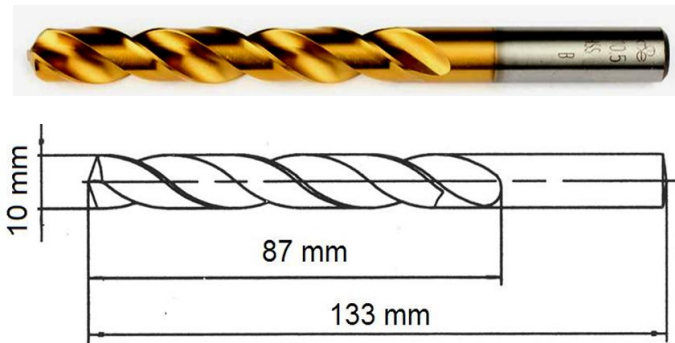


Fig.4 Deneyde Kullanılan Matkap Ucu Ölçüleri

### 3.5. Deneyde Kullanılan Titreşim Ölçüm Cihazı

Matkapla delme işlemi esnasında, meydana gelen titreşimler 5 kanallı titreşim ölçüm cihazı ve 3 eksenli ivme sensörü vasıtasıyla elde edilmiştir.

### 3.6. Kesme Şartları

Bu deneylerde amaç; kuru delik delme esnasında, kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin titreşime olan tesirini incelemektir. Titreşim parametrelerine etkisinden dolayı soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Bu deneylerde delme derinliği sabit alınmış olup 30 mm'dir. Deneysel çalışmamızda Al 7075'i

delmek için kullanılan parametreler iki grupta, iki farklı ilerleme hızı ve beş farklı devir sayısında Tablo.3'de sunulmuştur.

Tablo.3 Deneyde Kullanılan İlerleme ve Kesme Değerleri

1.GRUP	2.GRUP
F=100 mm/sn iken;	F=150 mm/sn iken;
S=500 dev/dk	S=500 dev/dk
S=750 dev/dk	S=750 dev/dk
S=1000 dev/dk	S=1000 dev/dk
S=1250 dev/dk	S=1250 dev/dk
S=1500 dev/dk	S=1500 dev/dk

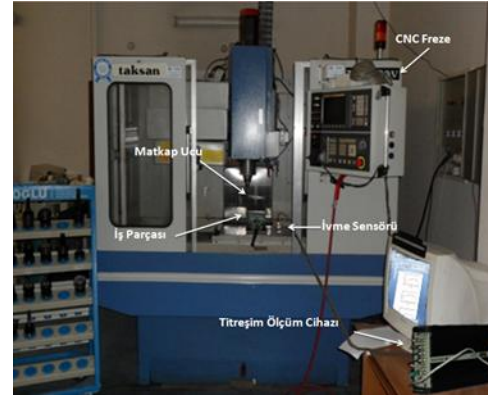
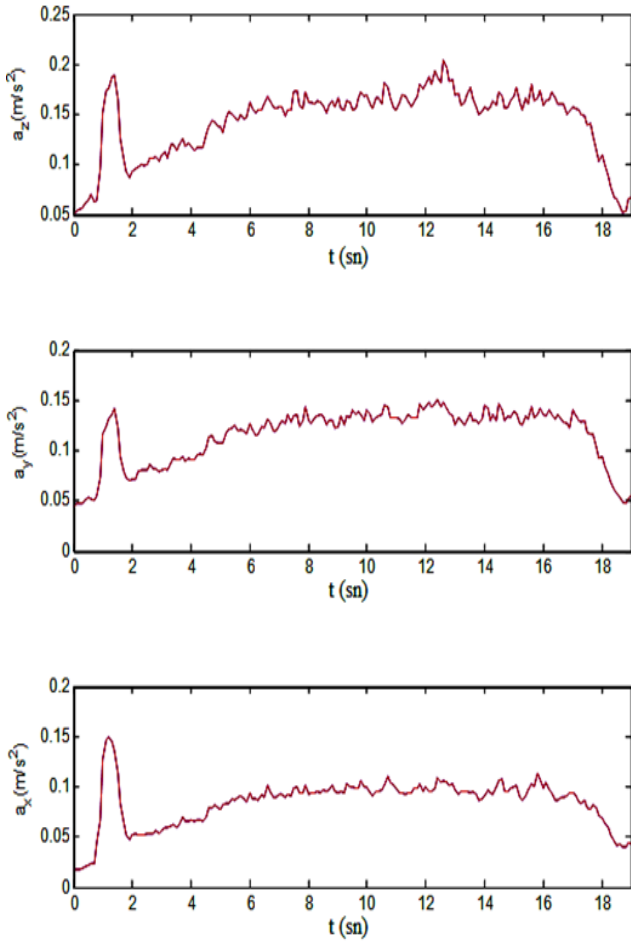


Fig.6 Deneysel Sistem ve Elemanları

Bu çalışmada toplam 10 adet deney yapılmıştır. Deneyden elde edilen titreşim verileri Fig.7-Fig-16' da verilmiştir.

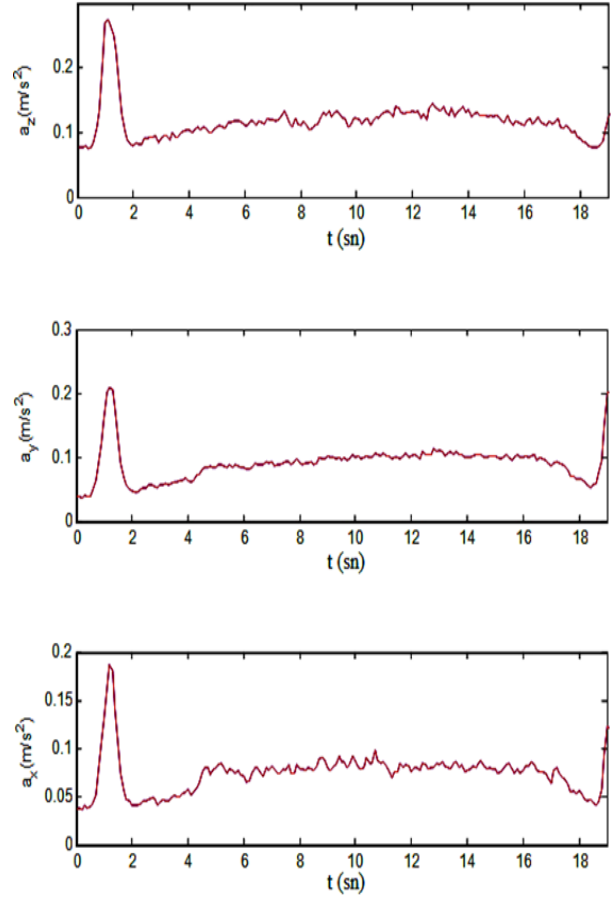
### 3.7 Kuru Delmede Kesme Parametrelerinin, Titreşim Değerlerine Tesirini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Fig.7'de 100 mm/sn ilerleme hızı ve 500 dev/dk dönme hızı kullanılarak yapılan delme işlemi esnasında meydana gelen titreşimler grafikler halinde verilmiştir. Üç ekseninde de, 0-2 saniyeleri arasında oluşan pikler, matkap ucunun ilk dalma anında meydana gelen yüksek titreşim değerinin pikleridir. Titreşim üç ekseninde de kararsız bir halde ve zamanla artarak devam etmektedir ve takımın malzemeden çıkma zamanında sıfıra doğru düşmektedir. Z eksenindeki titreşim değerine bakılırsa, X ve Y eksenine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

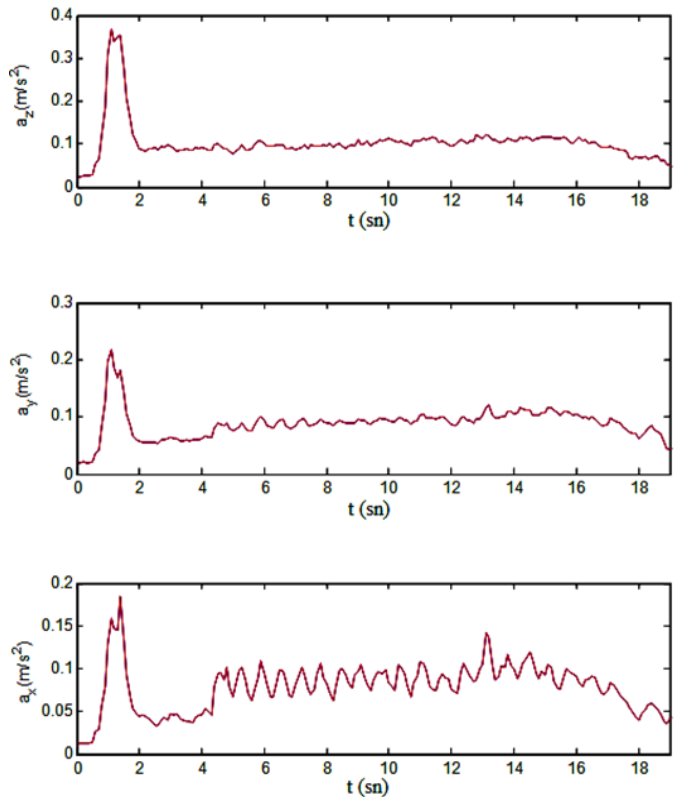


**Fig.7**  $F=100$  mm/sn ve  $S=500$  dev/dk için titreşim sonuçları

Fig.8'de 100 mm/sn ilerleme hızı ve 750 dev/dk dönme hızı kullanılarak yapılan delme işlemi esnasında meydana gelen titreşimler grafik halinde verilmiştir. Bu deneyde, titreşim değerleri ilk deneye göre daha stabil olarak ilerlediği görülmektedir. Fakat matkabın malzemeye ilk dalış esnasındaki titreşim değeri  $0.28$  m/sn<sup>2</sup>'ye kadar ulaşmaktadır. Burada aynı ilerleme hızında, dönme hızı 750 dev/dk'ya artırıldığında, matkabın malzemeye dalma esnasında titreşim değerlerinin artmasına neden olduğu görülmüştür. Fig.9'da  $F=100$  mm/sn ve  $S=1000$  dev/dk dönme hızında meydana gelen titreşimler grafik halinde verilmiştir. Dalma anında ki titreşim değeri, Z ekseninde  $0,4$  m/s<sup>2</sup>'ye yaklaşmış, tam delmeye başlamasının sonra titreşim değerleri  $0,1$  m/s<sup>2</sup>'nin altına düşmüş ve çok büyük değişimler olmadan stabil olarak devam etmiştir. Y ekseninde de  $0,1$  m/s<sup>2</sup>'nin altına düşmüş ve fazla değişmeden devam etmiştir. X ekseninde dalma anında ilk kesme zorlamasından dolayı çift pik oluşmuş, 2-4 saniyeleri arası titreşim değeri  $0.05$  m/s<sup>2</sup>'nin altına düşmüş ve daha sonrasında titreşim belirli bir aralıkta dalgalanarak devam etmiştir.

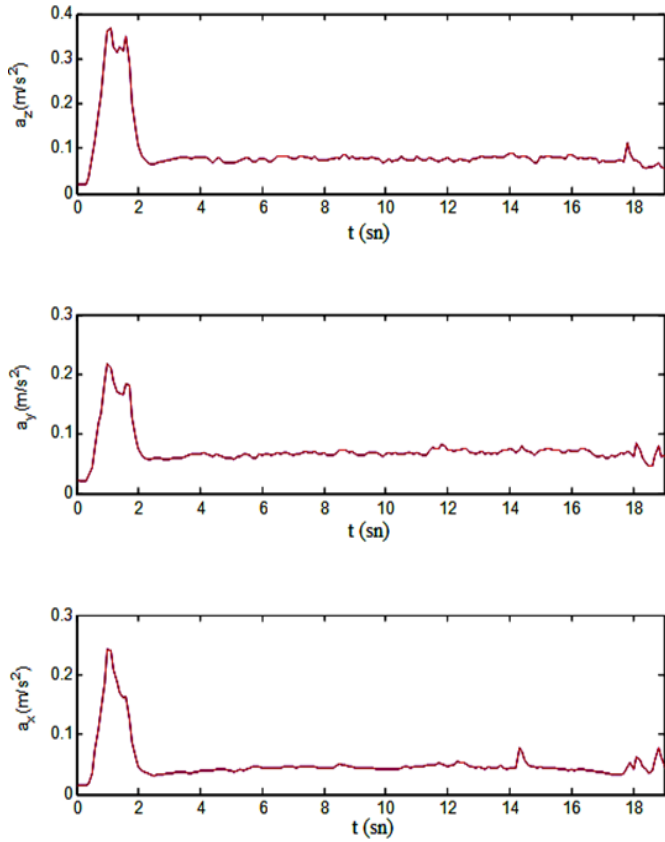


**Fig.8**  $F=100$  mm/sn ve  $S=750$  dev/dk için titreşim sonuçları



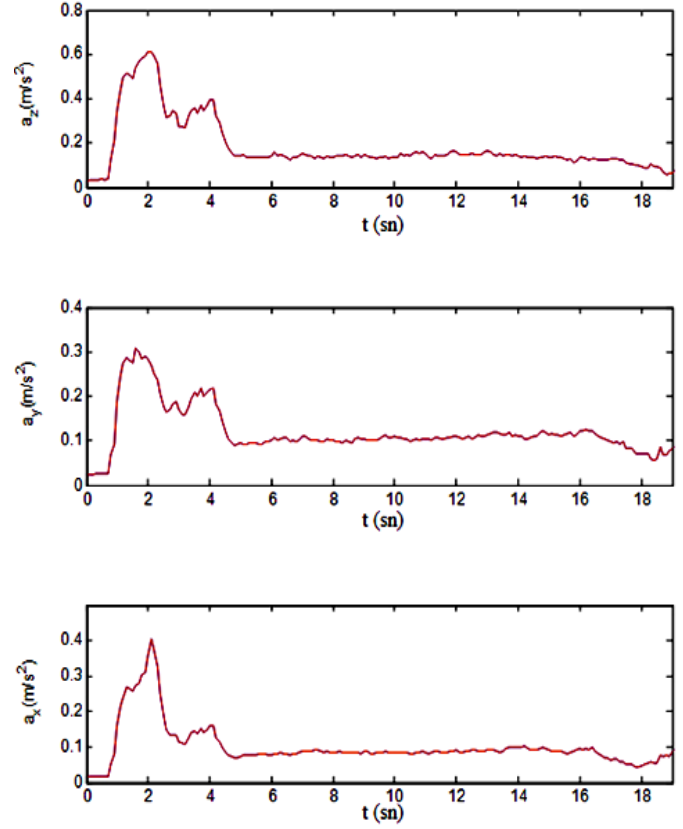
**Fig.9**  $F=100$  mm/sn ve  $S=1000$  dev/dk için titreşim sonuçları



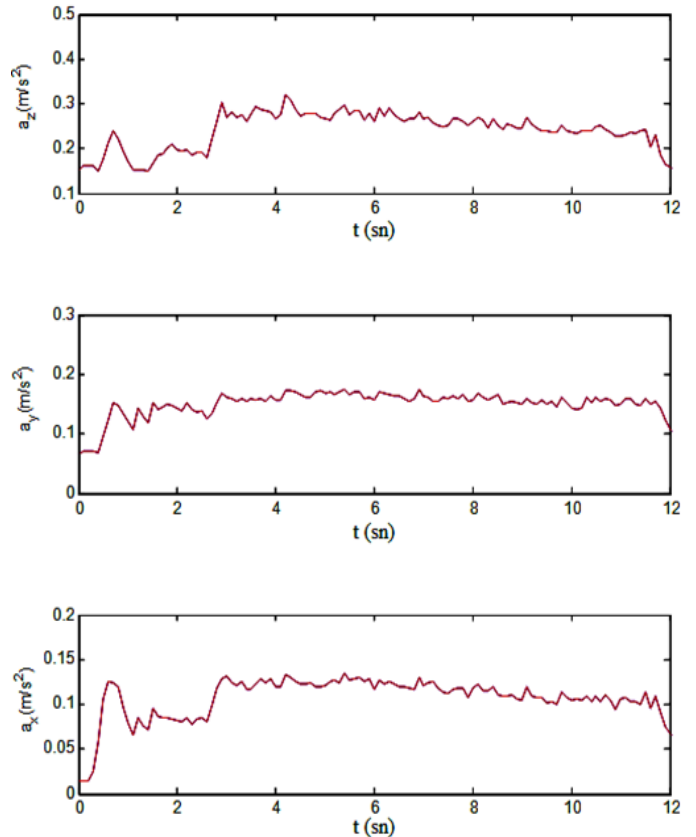


**Fig.10**  $F=100$  mm/sn ve  $S=1250$  dev/dk için titreşim sonuçları

Fig.10'da ise bir önceki deney ile aynı ilerleme hızına sahip fakat dönme hızı 1250 dev/dk'ya artırıldığı zaman ki delme işleminde oluşan titreşimler verilmiştir. Dalma anında en yüksek titreşim değeri Z ekseninde görülmektedir. Üç eksen de ilk dalma anında kesme zorlamasından dolayı çift oluşmuş ve titreşim değerleri diğer deneylere göre çok stabil devam ettiği, hatta X ekseninde 6-8 saniyeleri arasında neredeyse sabit kaldığı görülmektedir. Deneyin sonuna doğru üç eksen de oluşan küçük pikler, muhtemelen bir talaş sıkışmasının sonucu olabilir. Fig.11'de  $F=100$  mm/sn ve  $S=1500$  dev/dk dönme hızında meydana gelen titreşimler grafik halinde verilmiştir. Matkap ucunun devri çok yüksek olduğundan dolayı, salınımı fazla olmakta ve delme işleminde, matkabın kendini merkezleyerek düzgün delme yapması, diğer deneylere göre biraz daha uzun sürmüş olup 0-4 saniyeleri arasında ki oluşan çift piklerle görülmektedir. Ayrıca, 100 mm/sn ilerleme hızı için, matkabın malzemeye dalma anındaki en yüksek titreşim değeri bu deneyde elde edilmiştir. Dalma anından sonra düzgün kesme süresince titreşim değerlerinin gayet stabil olduğu görülmektedir. İlerleme hızı 150 mm/sn ve dönme hızı 500 dev/dk için deney sonuçları Fig.12' de verilmiştir. İlerleme hızı ilk deney grubundan daha yüksek olduğu için ve iş mili devir sayısının düşük olduğundan dolayı dalma anındaki pikler, birinci deney grubumuzda ki gibi belirgin değildir ve titreşim değerleri her üç eksen de yüksek değerlerde ve düzensiz olarak devam etmiştir.

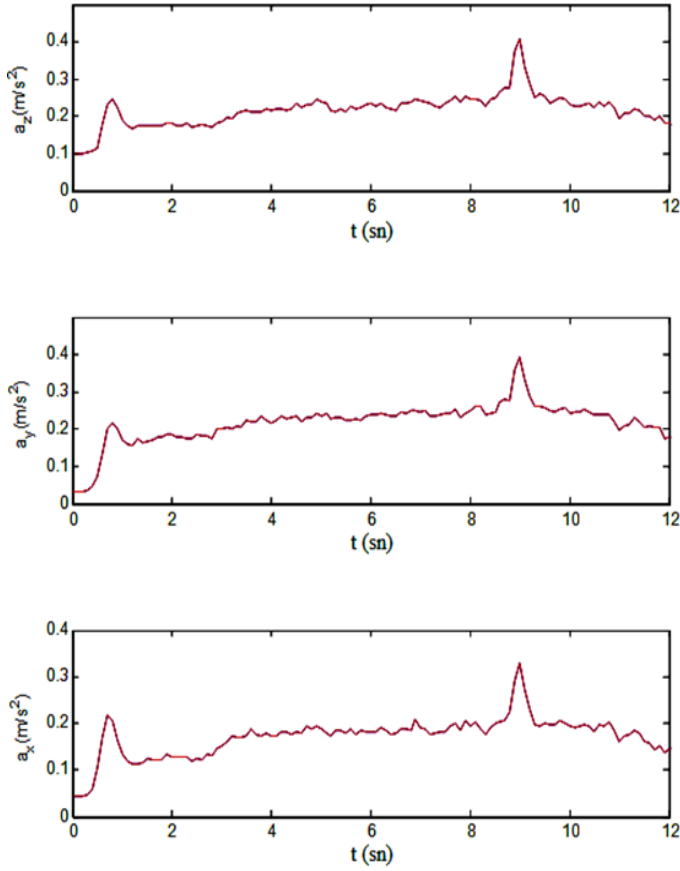


**Fig.11**  $F=100$  mm/sn ve  $S=1500$  dev/dk için titreşim sonuçları

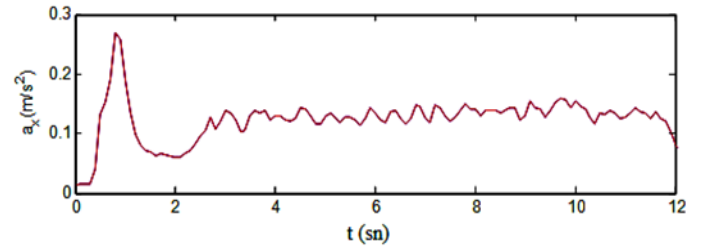
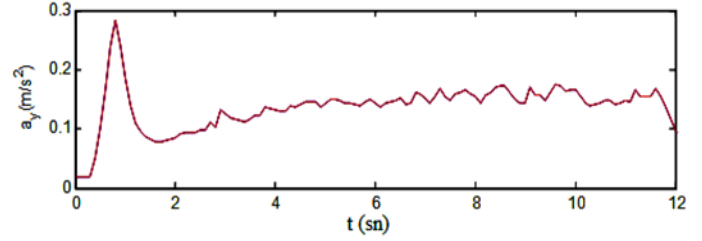
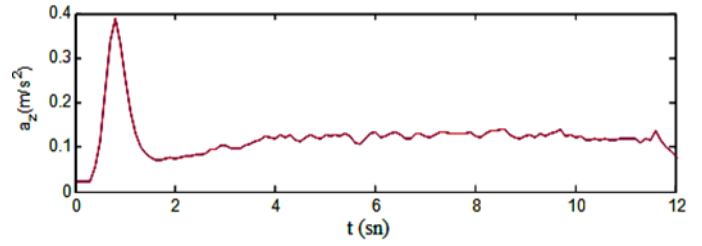


**Fig.12**  $F=150$  mm/sn ve  $S=500$  dev/dk için titreşim sonuçları

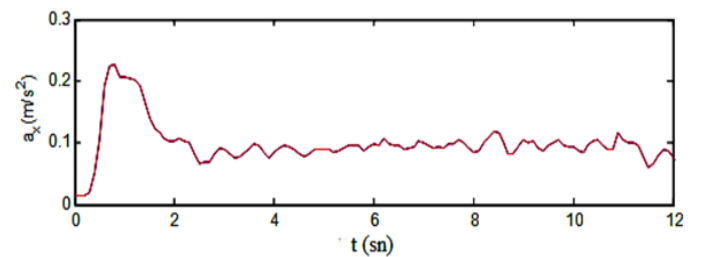
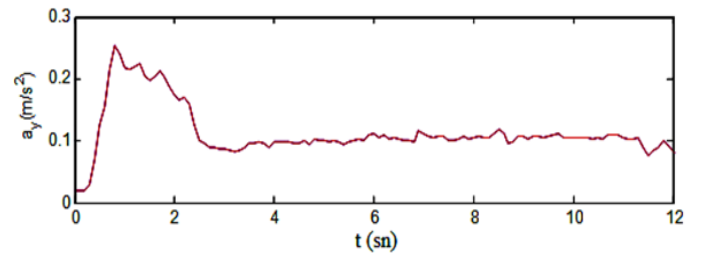
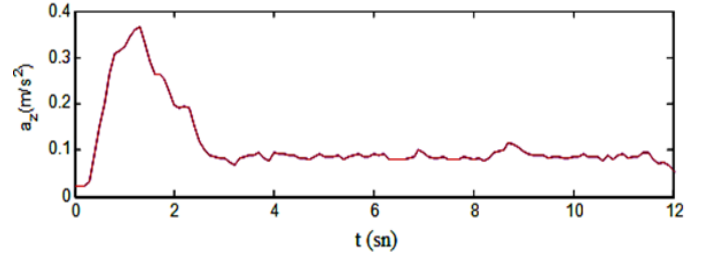
İlerleme hızı 150 mm/sn ve dönme hızı 750 dev/dk için deney sonuçları Fig.13' de verilmiştir. Aynı ilerleme hızında, dönme hızı artırıldığında matkabın malzemeye dalma esnasında titreşim değeri 0.2 m/sn<sup>2</sup> civarındadır. Yine de, delme hızı ilerleme hızına göre düşük olduğu için titreşim değerleri üç ekseninde de 0.2-0.3 m/sn<sup>2</sup> arası yüksek şekilde ilerlemiştir ve yaklaşık aynı karakteristiklere sahiptir. Dokuzuncu saniyede meydana gelen yüksek değerli titreşim pikinin sebebi, kesme esnasında oluşan sürekli taşlaşın, matkap ucuna sarılması ve delme esnasında sıkışmasından dolayı olabilir. Fig.14'de ilerleme hızı 150 mm/sn ve dönme hızı 1000 dev/dk için oluşan titreşim değerleri grafikler halinde verilmiştir. Yine Z ekseninde, dalma anında en büyük pik değeri oluşmuş, ve dalma anından sonra bu ekseninde titreşim değeri stabil olarak devam etmektedir, fakat Y ve X eksenlerinde titreşim değerleri Z eksenine göre daha dalgalı olmuştur. Fig.15'de ilerleme hızı 150 mm/sn ve dönme hızı 1250 dev/dak için oluşan titreşim değerleri grafikler halinde verilmiştir. İş mili devir sayısı ve ilerleme hızı yüksek olduğu için matkap ucundaki düzgünsüzlükler sebebiyle meydana gelen uç salınımindan dolayı, matkabın dalma anında kendini merkezlemesi ve düzgün delmeye geçme süresi daha uzun olduğu görülmektedir. Titreşim üç ekseninde de daldan sonra yaklaşık aynı karakteristiklere sahiptir. Z ekseninde ilk dalma anındaki titreşim değeri daha yüksektir



**Fig.13**  $F=150$  mm/sn ve  $S=750$  dev/dk için titreşim sonuçları

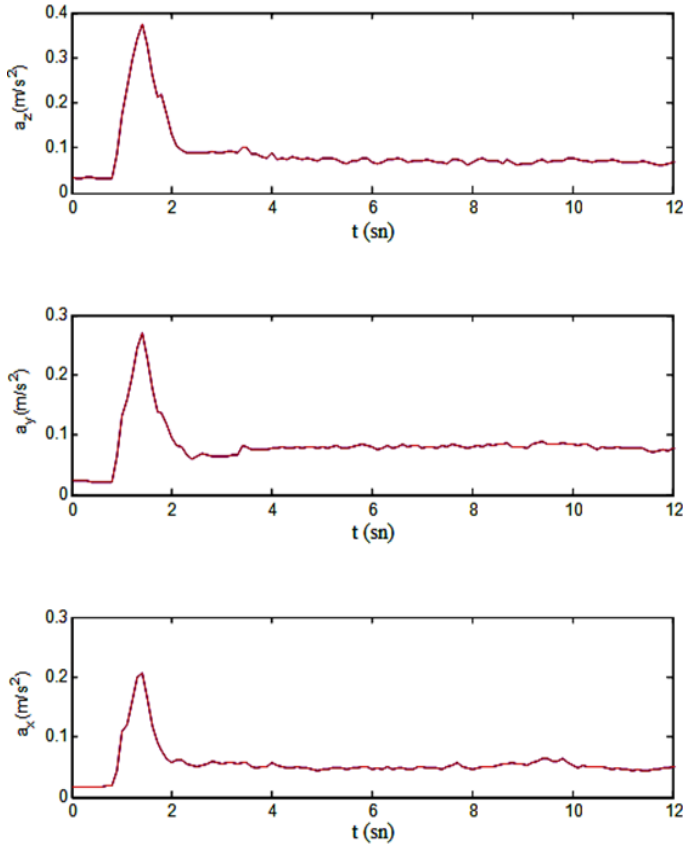


**Fig.14**  $F=150$  mm/sn ve  $S=1000$  dev/dk için titreşim sonuçları



**Fig.15**  $F=150$  mm/sn ve  $S=1250$  dev/dk için titreşim sonuçları

Fig.16'da ilerleme hızı 150 mm/sn ve dönme hızı 1500 dev/dk için oluşan titreşim değerleri grafikler haline verilmiştir. Dalma işlemi birinci saniyeden itibaren gerçekleşmektedir. Bu deneyde de iş mili devir hızı yüksek olduğundan, matkap ucundaki salınımın yüksek olması ve dolayısıyla dalma anındaki titreşim karakteristiğinin Fig.10' da ki deneydeki gibi olması beklenebilir, fakat bu deneyde ilerleme hızının daha yüksek olması sebebiyle matkap ucunun kendini merkezleyerek, düzgün delmeye geçme süresi daha kısa olmuştur. Devir sayısı yüksek olduğu için daldıktan sonra titreşimin stabil halde devam ettiği görülmektedir.



**Fig.16**  $F=150$  mm/sn ve  $S=1500$  dev/dk için titreşim sonuçları

#### 4 SONUÇLAR

Al-7075 malzemesinin kuru delinmesi esnasında oluşan titreşim verileri bir önceki bölümde sunulmuştur. Al-7075 malzemesi kullanıldığı yerler itibarıyla oldukça önem arz etmekte olup, bu malzemenin talaşlı imalatında; kesme şartları ve kesici takım karakteristikleri çok iyi belirlenmelidir. İyi belirlenmiş kesme parametreleri ile ideal kesici takım, ilerleme hızı ve devir sayısı kullanılarak yapılan talaşlı imalatta malzemenin delik kalitesi daha iyi oluşacak, ilaveten kesici takımlar daha uzun ömürlü olacaktır. Ayrıca kesme parametrelerinin ve kesici takımın iyi seçilmesi, yapılan talaşlı imalatın ekonomikliği açısından da önem arz etmektedir. Yukarıdaki paragrafta bahsedilen sebeplerden dolayı, yapılan deneysel ve nümerik çalışma sonucunda Al-7075 malzemesine delme prosesi uygulanacağı zaman; düşük ilerleme hızı ile birlikte yüksek dönme hızı kullanılmalıdır. Önceki bölümde deney verileri incelendiğinde, iş milinin düşük dönme hızı, ilerleme hızının fazla olması durumunda, matkap ucu birim zamanda daha fazla talaş kaldırmaya zorlandığı için

titreşim değerleri de daha yüksek olmaktadır. Fakat ilerleme hızı sabit kalıp, iş mili devir sayısı yükseldikçe matkap ucunun birim zamanda talaş kaldırma miktarı artacağından, matkap daha az baskı kuvvetine maruz kalacak ve dolayısıyla titreşim miktarı azalacaktır. Bundan dolayı delme işlemlerinde yüksek devir ve düşük ilerleme hızı tercih edilmelidir.  $F=100$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk olan deneyde ve  $F=150$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk olan deneyde, iş mili devir sayıları aynı, ilerleme hızları farklıdır. Bu deneylerden elde edilen grafikler incelendiğinde, dalma anından sonraki titreşim karakteristiklerinin üç ekseninde de yaklaşık olarak birbirinin aynı olduğu görülmektedir. Belirgin bir ayırt edici özellik olarak dalma anındaki titreşim karakteristikleri incelenebilir.  $F=100$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk olan deneyde, ilerleme hızı,  $F=150$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk olan deneye göre daha yavaş olduğu için, matkap ucunun kendini dengelemesi biraz daha uzun sürmüştür, dolayısıyla dalma anında daha fazla titreşim olmuştur. Fakat  $F=150$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk olan deneyde ilerleme hızı daha yüksek olduğu için, düzgün delmeye daha hızlı geçmekte ve o aralık daha kısa olmaktadır. Buradan da açıkça anlaşılmaktadır ki; delme işleminde sadece en yüksek devir ve en düşük ilerleme hızı seçilmesi uygun olmayıp, daha az titreşim olması için uygun bir "ilerleme hızı – devir sayısı" çifti seçilmelidir. Yapılan deneyler içerisinde en uygun deney çiftinin  $F=100$  mm/dk,  $S=1250$  dev/dk ve ilerleme hızı,  $F=150$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk deneylerinin olduğu görülmektedir. Çünkü dikkat edilirse  $F=150$  mm/dk,  $S=1500$  dev/dk olan deneyde ilerleme hızı daha düşük olduğu halde, dalma anındaki titreşim değerleri ve özellikle de daldıktan sonraki titreşim değerleri, aynı devir sayısına sahip onuncu deneyden daha yüksek olduğu görülmektedir. Eksenler arası titreşim değerlerinin en çok farklılığa sahip olan deney  $F=150$  mm/dk,  $S=500$  dev/dk olan deneydir. Burada Z ekseninde titreşim değerleri ortalama  $0.3 - 0.2$  m/s<sup>2</sup> arası, Y ekseninde  $0.2 - 0.1$  m/s<sup>2</sup> arası ve X ekseninde  $0.15 - 0.1$  m/s<sup>2</sup> arasındadır. En yüksek titreşim değerleri ise  $F=150$  mm/dk,  $S=750$  dev/dk olan deneyde görülmektedir. Bu deneyde üç ekseninde de titreşim değerleri yaklaşık olarak aynı karakteristiklere sahiptir ve ortalama  $0.2 - 0.4$  m/s<sup>2</sup> arasındadır. Ayrıca üç ekseninde de yaklaşık dokuzuncu saniye yüksek bir pik meydana gelmiş olup, bunun sebebi ise talaş sıkışması olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın özellikle Al 7075 malzemesi başta olmak üzere mekanik ve kimyasal özellikleri ile bu malzemeye yakın diğer alüminyum malzemeler ve türevlerinin delme işlemi esnasında oluşacak titreşimler hakkında bu konuda çalışanlara bilgi vermesi açısından önemlidir.

#### 5 KAYNAKLAR

- [1] Kalpakjian, S. 1991. Manufacturing Processes for Engineering Materials Second Edition, Addison, Wesley, 42-75.
- [2] Roukema J.C., Altintas Y., Generalized modeling of drilling vibrations. Part I: Time domain model of drilling kinematics, dynamics and hole formation, International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1455–1473.
- [3] Roukema J.C., Altintas Y., Time domain simulation of torsional–axial vibrations in drilling
- [4] Roukema J.C., Altintas Y., Generalized modeling of drilling vibrations. Part II: Chatter stability in frequency

domain, International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 1474–1485.

- [5] Simon S.F. Chang, Gary M. Bone., Burr height model for vibration assisted drilling of aluminum 6061-T6, Precision Engineering 34 (2010) 369–375
- [6] Tooraj Arvajah, Fathy Ismail, Machining stability in high-speed drilling—Part 1: Modeling vibration stability in bending International, Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 1563–1572
- [7] Amor Messaoud, Claus Weihs, Franz Hering, Detection of chatter vibration in a drilling process using multivariate control charts, Computational Statistics & Data Analysis 52 (2008) 3208 – 3219