



## ULTRASONİK MAKİNEDE BOYNUZLARIN SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ

Cem ALTUNOK<sup>1</sup>, Onur KOÇDEVİREN<sup>1</sup>, Nurettin ŞENYER<sup>2\*</sup>, İbrahim KELEŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aygün AŞ, Ar-Ge Bölümü, 55139, Tekkeköy/Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 55420, Engiz, Samsun, Türkiye

<sup>3</sup>Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55420, Engiz/Samsun, Türkiye

**Özet:** Bu çalışma ile farklı geometrilere sahip boynuzların mod şekilleri ve doğal frekansları FEM tabanlı ANSYS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Dört farklı boynuz malzemesi için düz boynuz, konik boynuz, bezier tipi boynuz ve sonotrot tipi boynuz profilinin modal analizi, sonlu eleman tabanlı ANSYS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde boynuz malzemesi olarak sade karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum ve titanyum seçilmiştir. Farklı mod şekillerinde farklı frekansların gözlemlendiği ve istenen frekanslarımızın rezonans boylamsal titreşim moduna sahip olduğumuz mod olduğu gözlemlenmiştir. Analizle elde edilen frekans aralığı gibi bulgular endüstriyel uygulamada ultrasonik makine için en uygun malzeme, boyut ve şeklin seçimine katkı sağladığı elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ultrasonik işleme, Sonlu elemanlar analizi, Ultrasonik boynuz, Modal analiz, Frekans, Rezonans uzunluğu

### Analysis of Ultrasonic Horn with Finite Element Method

**Abstract:** In this study, the mode shapes and natural frequencies of the horns with different geometries are to reveal an important aspect of the design by using FEM based ANSYS software. Modal analysis of flat horn, conical horn, Bezier type horn and sonotrode type horn profile for four different horn materials was performed using finite element based ANSYS software. Plain carbon steel, stainless steel, aluminum and titanium were selected as horn material in the analysis. It has been observed that different frequencies are observed in different mode shapes and our desired frequencies are the mode in which we have a resonance longitudinal vibration mode. For industrial application, it can find suitable material selection for ultrasonic machine in a certain frequency range. When the obtained results are examined, one can select the appropriate material, suitable size and suitable shape for a particular industrial ultrasonic machine application.

**Keywords:** Ultrasonic machining, Finite element analysis, Ultrasonic horn, Modal analysis, Frequency, Resonance length

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, 55420, Engiz, Samsun, Türkiye

E mail: nurettin.senyar@gmail.com (N. ŞENYER)

Cem ALTUNOK  <https://orcid.org/0000-0001-8126-307X>  
Onur KOÇDEVİREN  <https://orcid.org/0000-0003-1216-0610>  
Nurettin ŞENYER  <https://orcid.org/0000-0001-8668-5263>  
İbrahim KELEŞ  <https://orcid.org/0000-0001-8252-2635>

**Gönderi:** 09 Eylül 2021

**Kabul:** 08 Ekim 2021

**Yayınlanma:** 01 Ocak 2022

**Received:** September 09, 2021

**Accepted:** October 08, 2021

**Published:** January 01, 2022

**Cite as:** Altunok C, Koçdeviren O, Şenyar N, Keleş İ. 2022. Analysis of ultrasonic horn with finite element method. BSJ Eng Sci, 5(1): 7-10.

### 1. Giriş

Sert ve kırılğan malzemelerin hassas bir şekilde işlenmesi gelişen teknoloji ile birlikte mühendislik uygulama alanlarında kullanılan yüksek kalite gerektiren uygulamalarda son derece önemlidir. Ultrasonik işleme termal olmayan ve gerilimsiz işleme nedeniyle, bu malzemeler için tercih edilen bir işleme yöntemidir. Bu işleme yönteminin temel çalışma prensibi piezoelektrik ile tahrik edilen bir parçanın rezonansa girmesi ve rezonans titreşiminin oluşturduğu ısı ile çeşitli materyallere kaynak işlemi gerçekleştirmesidir. Bu parça horn ya da boynuz olarak adlandırılır. Amin ve arkadaşları, CAD tabanlı tasarım prosedürünü uygulayarak üst ucu konik şekilli ve alt ucu ise silindirik olan boynuz profilini tasarlayarak çok fazla büyütmek faktörü sağladığını bulmuşlardır (Amin ve ark., 1995). Farklı boynuz profillerinde dinamik etkileri araştırılan Nad, yaptığı çalışma ile rezonans frekansı ve

amplifikasyon faktörünün boynuz seçiminde en kritik iki parametre olduğu görülmüştür (Rawson, 1987). Seah ve ark. (1993) konik ve kademeli boynuzlarda tasarım parametrelerdeki değişimin frekanslar ve gerilme üzerindeki etkisini sonlu elemanlar kullanarak araştırmıştır. Kademeli ve konik gibi farklı boynuz profillerinde geometrik parametrelerin üstel alınarak dinamik etkisini Nad ve Cımcanova (2012) tarafından analiz edilmiştir. Yadava ve Deoghare (2008) döner ultrasonik işleme sonotrotu için FEM tabanlı tasarım prosedürü geliştirerek gerilim ve frekans arasındaki ilişkinin son derece önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Youssef ve El-Hofy (2008) genel ampirik formülü kullanarak boynuz konturunu belirlemek için bir tasarım metodolojisi geliştirdiler. Akustik boynuz analizi ve tasarımı Shu ve ark. (2013) ANSYS yazılımı kullanarak farklı boynuz profillerinin doğal frekanslarını ve genlik amplifikasyonunu bulmak için modal analiz ve harmonik

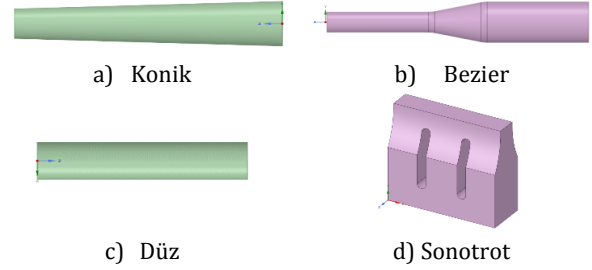


analiz yapmıştır. Nanu ve Marinescu (2011) tarafından ultrasonik destekli işleme sırasında kademeli boynuz profili üzerindeki adım uzunluğu, çap ve köşe yarıçapı boyutunun etkisini araştırmak için kullanılmıştır. Roy ve Jagdish (2017) ANSYS kullanarak ultrasonik işleme için dairesel içi boş bir boynuz tasarlamıştır. Yapılan literatür incelemesi, çeşitli boynuz profilleri için FEM kullanılarak modal analizin gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, farklı malzemelerden üretilen profiller ve sonotrot tipi boynuz için karşılaştırmalı bir analizin yapılmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu çalışmada dört farklı malzeme için dört farklı geometriye sahip boynuz profilleri için modal analiz, FEM tabanlı ANSYS yazılımı akademik lisans ile kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. Sonlu Eleman Modellemesi

Boynuz geometrilerinin modellenmesi ve tasarımı için kullanılan yazılım SolidWorks programıdır. Dört farklı boynuz geometrisi oluşturulmuştur, bunlar düz boynuz, konik boynuz, bezier tipi boynuz ve sonotrot tipi boynuzdur. Şekil 1'de belirtilen boynuz profillerine ait kesit görünümü gösterilmektedir. Farklı malzemeler için farklı şekilli boynuzların mod şeklini ve doğal frekansını

elde etmek için modal analiz yapılır. Silindirik yapılar için mod şekillerinin ve doğal frekansların analitik tespiti basitken diğerleri için daha karmaşıktır. Bu nedenle, bu malzemelerin doğal frekanslarını belirlemek için sonlu eleman analizi yöntemi kullanılır. Modal analiz genellikle bir gövde veya yapının serbest titreşim analiziyle ilgilendir. Bu analizin amacı, yapının yükün etkisini artıracığı mod şekillerini ve frekanslarını bulmaktır. Modal analizin gerçekleştirilebilmesi için karbon çeliği, paslanmaz çelik, alüminyum alaşım ve titanyum alaşım ait malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Horn profillerine ait kesit görünümü.

Tablo 1. Karbon çeliği, paslanmaz çelik, alüminyum alaşım ve titanyum alaşım için malzeme özellikleri

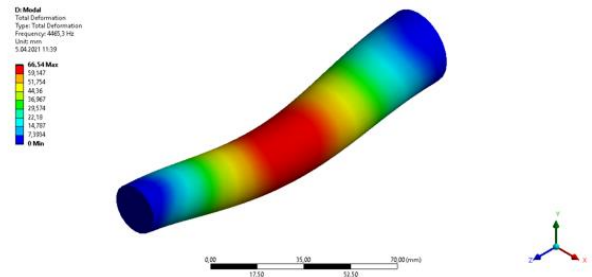
Malzeme	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kayma Modülü (MPa)	Hacim Modülü
Karbon çeliği	7850	201	0,3	76,9	166
Paslanmaz çelik	7750	193	0,31	73,6	169
Alüminyum alaşım	2770	71	0,33	26,6	69
Titanyum alaşım	4620	96	0,36	35,2	114

## 3. Bulgular ve Tartışma

Boynuzların analizi ANSYS yazılımı kullanılarak farklı aşamalarda meydana gelmektedir İlk aşama, boynuzun geometrisinin malzeme özellikleri ve frekans aralığı ile birlikte tanımlandığı ön işlemdir. Bir sonraki aşamada, problem çözülerek doğal frekanslar elde edilir. Son olarak, sonuçlar son işlemci aşamasında incelenir ve grafiğe dökülür. Sınır şartları benzer akademik çalışmalarda modelin serbestlik derecesini farklı etkileyecek şekilde tanımlanmıştır. Cismin tam serbest bırakıldığı veya alt ve üst yüzeylerden sabit destek ile kısıtlandığı sınır şartları akademik çalışmalarda kullanılmaktadır.

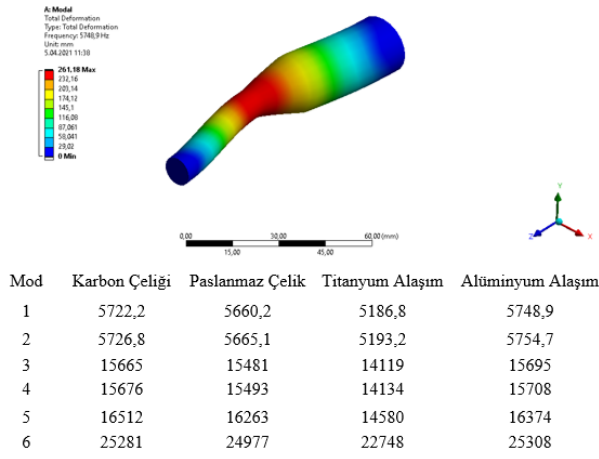
Çalışmada boynuz alt ve üst yüzeylerden kısıtlanarak hesaplama yapılmıştır ve bu sınır şartı tüm hesaplamalarda geçerli tutulmuştur. Hesaplanacak doğal frekanslar Ansys programında iki farklı şekilde hesaplanabilir. İlk yöntem belirli sayıda mod hesaplanması ve her modu tetikleyen frekansı hertz cinsinden hesaplamaktır. İkinci yöntem ise belirli frekans aralığında örneğin 20 Khz–40 Khz arasında oluşan modları hesaplayarak modların hareketini incelemek ve istenen hareketi sağlayan modu aramaktır. Çalışmada ilk yöntem tercih edilmiştir ve ilk altı mod hesaplanmıştır. Bu analizde altı mod oluşturulmuş olup farklı

geometrilere ve malzemelere için elde edilen modal analiz ve frekans Şekil 2-5'de gösterilmektedir.

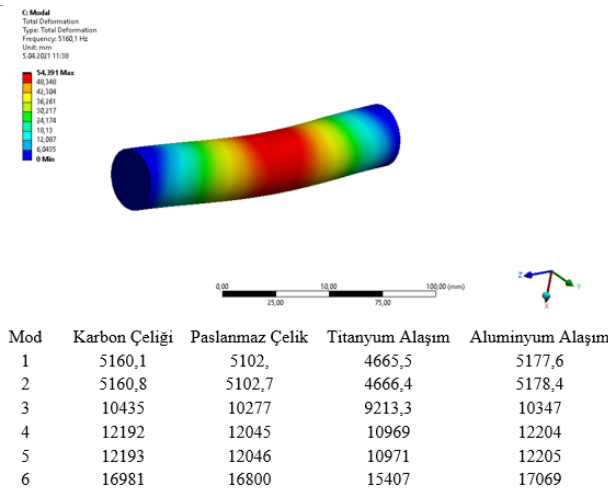


Mod	Karbon Çeliği	Paslanmaz Çelik	Titanyum Alaşım	Alüminyum Alaşım
1	4465,3	4415,6	4040,2	4482,1
2	4468,4	4418,9	4044,5	4486,
3	10601	10441	9360,4	10513
4	10891	10763	9815,	10911
5	10898	10770	9823,8	10919
6	16953	16771	15373	17036

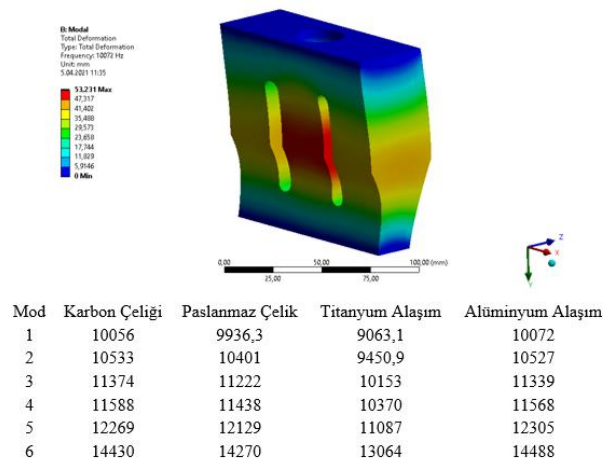
Şekil 2. Konik boynuzun modal analizi ve farklı malzemelere göre frekans değerleri.



Şekil 3. Bezier boynuzla ait modal analizi ve farklı malzemelere göre frekans değerleri.



Şekil 4. Silindirik boynuzla ait modal analizi ve farklı malzemelere göre frekans değerleri.



Şekil 5. Sonotrot boynuzla ait modal analizi ve farklı malzemelere göre frekans değerleri.

#### 4. Sonuç

Elde edilen şekiller incelendiğinde alüminyum alaşım ve karbon çeliği için elde edilen rezonans frekanslarının

diğer malzemelerden tüm modellerde daha yüksek çıktığını titanyumun ise tüm modellerde en düşük rezonans frekansını verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışmadaki sonuçlar ile Singh ve Mishraa, tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile yüksek ölçüde benzerlik göstermektedir (Singh ve Mishraa, 2016). Sonuçlardan şu sonuca varabiliriz:

- Farklı mod şekillerinde farklı frekansların gözlemlendiği ve istenen frekanslarımızın rezonant eksenel titreşim moduna sahip olduğumuz mod olduğu gözlemlenmiştir.
- Konik ve silindirik boynuz için istenen uzunlamasına titreşim modu, birinci modunda meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Endüstriyel uygulama için, belirli bir frekans aralığında ultrasonik makine için uygun malzeme seçimini yapmamız gerektirdiği ön görülmüştür.
- Alüminyum alaşım ve karbon çeliği için elde edilen rezonans frekanslarının diğer malzemelerden üretilen boynuzlara göre yüksek değerlerde olmasına karşın titanyum ile yapılan modellemelerde en düşük frekans değerini vermektedir.
- Sonuç olarak, belirli bir endüstriyel ultrasonik makine uygulaması için uygun malzemeyi, uygun boyutu ve uygun şekil seçilir.

#### Katkı Oranı Beyanı

Tüm yazarlar eşit oranda katkıya sahiptir. Tüm yazarlar makaleyi inceledi ve onayladı.

#### Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

#### Kaynaklar

- Amin SG, Ahmed MHM, Youssef HA. 1995. Computer-aided design of acoustic horns for ultrasonic machining using finite-element analysis. *J Material Proc Tech*, 55: 254-260.
- Nad M, Cicmancova L. 2012. The effect of the shape parameters on modal properties of ultrasonic horn design for ultrasonic assisted machining. 8<sup>th</sup> International DAAAM Baltic Conference, Tallinn-Estonia, April 2012, pp. 57-62.
- Nanu AS, Marinescu NI, Ghiculescu D. 2011. Study on ultrasonic stepped horn geometry design and FEM simulation. *Nonconv Tech Rev*, 15: 25-30.
- Rawson FF. 1987. High power ultrasonic resonant horns: Part 1 - Basic design concepts: velocity of ultrasound at 20 kHz; effects of material and horn dimensions. *Ultrasonics International 87<sup>th</sup> Conference Proceedings*, July, 1987, Oxford, London, pp. 680-685.
- Roy S, Jagadish A. 2017. Design of a circular hollow ultrasonic horn for USM using finite element analysis. *Int J Adv Manuf Tech*, 93(1): 319-328.
- Seah KHW, Wong YS, Lee LC. 1993. Design of tool holders for ultrasonic machining using FEM. *J Material Proc Techn*, 37: 801-816.
- Shu KM, Hsieh WH, Yen HS. 2013. On the design and analysis of acoustic horns for ultrasonic welding. *Transact Canadian Soc Mech Eng*, 37: 905-916.
- Singh DP, Mishraa S. 2016. Modal Analysis for solid and hollow

- ultrasonic Horns using fem. ELK Asia Pacific J Mech Eng Res, (Special Issue): 268-275.
- Yadava V, Deoghare A. 2008. Design of horn for rotary ultrasonic machining using the finite element method. Int J Adv Manuf Technol, 39: 9-20.
- Youssef HA, El-Hofy H. 2008. Machining technology machine tools and operations. CRC Press, New York, USA, pp. 672.