

**Mehmet Yüksel**  
İmalat. Müh.  
Atılım Üniversitesi, Ankara

**Ezgi Kılınc**  
İmalat. Müh.  
Atılım Üniversitesi, Ankara

**Server Kanberlioğlu**  
İmalat. Müh.  
Atılım Üniversitesi, Ankara

**Boran Güneri**  
İmalat. Müh.  
Atılım Üniversitesi, Ankara

**Bilgin Kaftanoğlu**  
Prof. Dr.  
ATILIM Üniversitesi  
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

**Şakir Baytaroğlu**  
İmalat. Müh.  
Atılım Üniversitesi, Ankara

**Tuğçe Hacaloğlu**  
ATILIM Üniversitesi  
Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara

# Taşınabilir Hafif Yüzey Taşlama Makinasının Tasarım ve İmalatı

*Bu çalışmada laboratuvar kullanımı için hafif, portatif yüzey taşlama makinasının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Taşlanacak parçaların tutulması için manyetik tabla kullanılmıştır. Makinanın x, y ve z eksenlerindeki hareketi kontrol için (CNC) teknolojisi uygulanmıştır. Makinanın gövdesinde balpeteği ve metalik malzeme kullanılarak hafiflik ve esnemezlik artırılmıştır. Sonlu elemanlar analizi yapılarak sistemin sehim ve gerilme analizi yapılmıştır. Taşlama koşulları altında, en yüksek sehim  $<0.01$  mm olmuştur. Soğutma sistemi kullanılarak parçanın ısınması önlenmiştir. Yapılan deneylerde, taşlanmış parçalar üzerinde düzlemsellik ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve beklenen sınırlar altında kaldığı görülmüştür.*

*Anahtar Kelimeler: Taşlama Makinası, Tasarım, İmalat, Deney, Yüzey Özellikleri*

## GİRİŞ

Taşlama taşı, sert aşındırıcı parçacıkların organik veya inorganik bağlama malzemeleri ile birleştirilmesiyle üretilmektedir ve taşlama makinalarında yüksek hızlarla döndürülmektedirler. Taşlama taşı, iş parçasının yüzeyine yavaşça temas ettikten sonra referans noktaları elde edilir. Taşlama, talaşlı işlem aşamasından sonra daha iyi bir düzlemsellik ve daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kullanılır. Genellikle dökme demirde ve çeşitli çeliklerde kullanılır. Bu malzemeler taşlama makinalarında yaygın olarak kullanılan manyetik tabla tarafından tutulabilirler. Taşlama taşı, taşlanacak olan malzemeye uygun olarak seçilir. Bu sayede, malzemede oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmiş olunur. Alüminyum, paslanmaz çelik, pirinç ve plastikler taşlama taşını çelik ve dökme demirden daha fazla tıkama eğilimindedir, ancak özel tekniklerle taşlanmaları mümkündür. Taşlama, imalat endüstrisi için çok popüler bir tekniktir. Farklı amaçlar ve uygulamalar için üretilmiş çok fazla sayıda taşlama makinası vardır. Taşlama tekniği

yaklaşık 40.000 yıl öncesinden beri kullanılmaktadır. Kum ve diğer aşındırıcı taşların kullanıldığı taşlar ile malzemelerde boyut küçültme tekniği başlamıştır [1]. İlk taşlama makinası 30 Ağustos 1853'te ABD vatandaşı Samuel Darling tarafından icat edilmiştir [2]. A. R. Reynolds, 5 Mart 1867'de [3] bir metal taşlama makinası geliştirmiştir. Bu makina özellikle yüzey taşlama amaçlı kullanıldı ve o zamanların endüstrisi için çok önemliydi.

“Metal düzlemleyiciler” denilen iyileştirmeler J.H. 1867'de Steenbergh [4] ile tornalama gibi taşlama patenti, A. Thomas tarafından 1867'de aynı anda alınmıştır [5]. Metal plakaların taşlanması patenti 1869'da E.A. Beyaz [6] ve metal taşlama, parlatma için ilk makina patenti J.S. Lane ve J.H. Pitkin [7] tarafından 1870'de alınmıştır. Metal şekillendirme ve presleme makinalarındaki iyileştirmeler, 1874 yılında M. Newman [8] tarafından yapılmıştır. Testere taşlama makinalarındaki gelişmelere ilişkin patent, 1874 yılında H. Disston tarafından alınmıştır [9]. İlk silindirik taşlama makinası J.A. Coleman, 1888'de [10] icat edilmiştir.

İlk yüzey taşlama teorisi, 1889 yılında E.R. Hyde tarafından yüzey taşlama makinasının geliştirilmesinde kullanıldı [11]. G.W. Watnous, 1891 yılında honlama taşlama makinasının yapımında bazı katkılarda bulunmuştur [12]. Yüzey taşlama makinasında ki en iyi geliştirmeler R.C. 1908'de Matthews [13] tarafından yapılmıştır.

Son yüzyıldaki patentler arasında 1920'de George B Vernon [14] taşlama makinalarında patent aldı ve bu makina 1939 yılına kadar geliştirildi. 1935 yılında alınan diğer taşlama makinası patenti Hormel August'a aittir [15]. Ramsay M Bell'in "Kayış tipi Elektrokimyasal Taşlama Makinası" [16] üzerinde patenti vardır. 1992'de Gerd Berner, yüzey taşlama tezgâhı için patent almıştır [17]. 1997 yılında, ilk dikey taşlama makinası Gilbert Filipe Maria Witters, Johannes Petrus, Van Vliet ve Joop Henk Muller [18] tarafından patentlendirildi. 1999 yılında el taşlama makinası Lee Hsin-Chih Chung [19] tarafından geliştirilmiş ve patenti alınmıştır. 2003 yılında ilk taşınabilir taşlama makinası Albert Kleider [20] tarafından patentlendirildi. 2011 yılında Murray David Wilson, Steven David Wilson ve Omer Leon Hageniers [21] tarafından "Taşlama Taşı Traşlanması için Çoklu Dönen Aparat" patenti alındı. 2014 yılında Truong, P. Wiggins, R. & Wiggins, S. Tarafından [22] bir zemin taşlama makinesinin tambur tertibatına dönüş vermek için bir tahrik ünitesi geliştirildi. 2014 yılında Liaw, Y. J. Kalem, S. K. L. & Liao, Y. tarafından [23] pnömatik yüzey taşlama makinası yapılmıştır. Nishimura, Y. tarafından 2015 yılında [24] taşlama makinası için taşlama aparatı ve taşlama methodu geliştirildi. Weber, J. Ribbeck, K. M. & Blasberg, H. tarafından 2016 yılında [25] taşlama makinasını dişli sistemi ile geliştirildi. Wyman, H. yılında 2016 yılında [26] bir diş başlığının bir bölgesinde bir konik dişlinin işlenmesi için yöntem, konik dişlilerin işlenmesi için makine ve bununla birlikte kullanılmak üzere taşlama aleti geliştirildi.

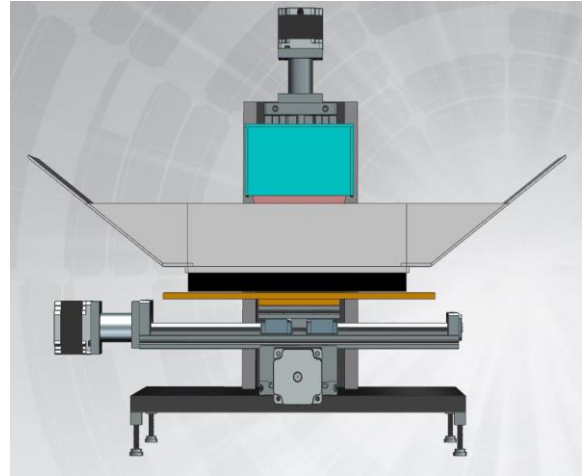
## TASARIM GEREKSİNİMLERİ

Taşınabilir hafif bir taşlama makinasının, üç hareket eksenine sahip olacak şekilde tasarlanmasına gerek duyulmuştur. Bunlar, uzunlamasına doğrultuda x eksenine, enine doğrultuda y eksenine ve dikey doğrultuda z eksenidir. Hareket sınırları: x ekseninde 400 mm, y ekseninde 200 mm, z ekseninde 100 mm şeklindedir. Eksenlerin hareketlerini ve taşlama taşının hızını kontrol etmek için bir elektronik CNC sistemi gereklidir. Taşlama sonucu oluşan ısının giderilmesi için bir soğutma sistemine gereksinim duyulmuştur. Soğutma sıvısının masa alanı içerisinde tutmak için bir toplayıcı tepsiye gereksinim duyulmaktadır. Makinanın ağırlığını azaltmak için,

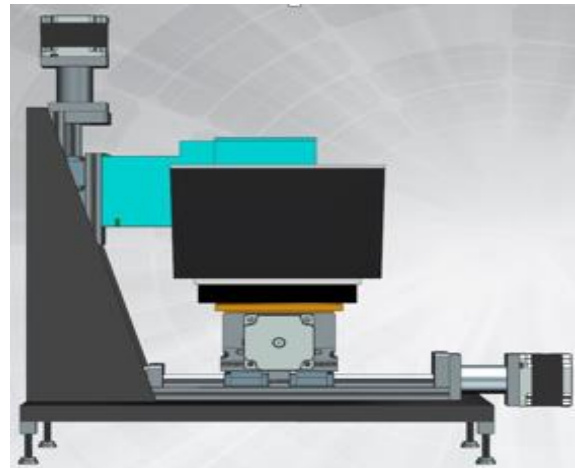
alüminyum ve honeycomb petek gibi kompozit malzemeler kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kullanılacak olan sarf malzemelerin cinsi ve boyutu hafiflik kriterine uygun olacak şekilde üretilmiştir. Yapısal elemanlarda honeycomb petek, motorların bağlantı elemanlarında hafiflik sağlamak için çoğunlukla alüminyum kullanılmıştır.

## MODELLEME, ANALİZ ve ALT SİSTEMLERİN TASARIMI

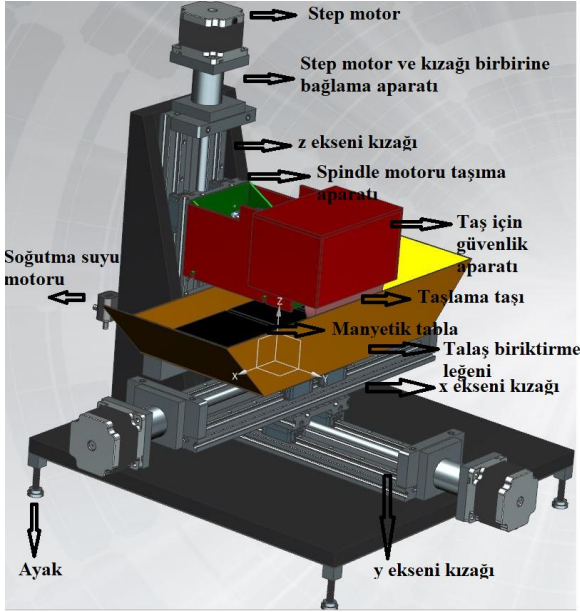
Makinanın amacı taşınabilir ve hafif olmak olduğu için, mümkün olduğunca alüminyum ve honeycomb petek gibi hafif malzemeler kullanılmıştır. Taşlama motorunun destekleri için kullanılan malzemeler sehimi azaltma amacı ile çelikten üretilmiştir. Taşlama makinasının genel tasarımı Şekil 1 ve 2 de gösterilmiştir.



Şekil 1: Önden görünüm



Şekil 2: Yandan görünüm



Şekil 3: İzometrik görünüm

### Taşlama Sistemi

**EKR Taşlama Taşı:** Bu yüzey taşlama taşları alüminyum oksit aşındırıcı parçacıkların seramik bağlayıcıların entegrasyonu ile üretilir. Çelik malzemeler için uygundur.

**NK Taşlama Taşı:** Bu yüzey taşlama taşları alüminyum oksit aşındırıcı parçacıkların seramik bağlayıcıların entegrasyonu ile üretilir. Çelik malzemeler için uygundur. Taşlama tezgâhlarında tungsten karbür takımların, cam, mermer ve tüm demir dışı metallerin taşlanması için kullanılır.

### Taşlama Taşı Hareket Sistemi

Spindle motor, diğer sabit mıknatıslı motorlardan farklı bir motor türüdür. Spindle motorlar, çok ani değişen hareketlere sahiptir ve yüksek ağırlıklar taşıyabilir. Bu nedenle, durma noktasına sahip konum yapıları diğer motorlar kadar hassas değildir. Bu gereksinimleri karşılamak için VFD022EL21A model sürücü seçilmiştir.

Step motorlar, elektrik enerjisini dönen harekete dönüştürmek için kullanılan elektromekanik cihazlardır. Üç eksen çalıştırmak için adım motorları kullanılır. Nema 34 model adım motorları, eksenleri x, y, z yönlerinde hareket ettirmek için M542 (CWD556) model sürücü seçilmiştir.

### Doğrusal Hareket Sistemi

Üç eksen için doğrusal hareket modülleri tercih edilmiştir. Bunun sebebi, vidalı tahrik

sistemlerinin ( $< 0.01$  mm) yüksek konumlandırma hassasiyetine sahip olmalarıdır.

### Özellikleri:

X eksen için: Doğrusal modül stroku: 400 mm, Hatvesi: 16x16, Hızı: 0.42 m/s

Y eksen için: Doğrusal modül stroku: 200 mm, Hatvesi: 16x5, Hızı: 0.12 m/s

Z eksen için: Doğrusal modül stroku: 100 mm, Hatvesi: 16x5, Hızı: 0.12 m/s

### Malzemeleri Tutma Sistemi

Manyetik tabla, taşlama makinasında çelik ve demir parçaları tutmak için kullanılır. 120 Newton/cm<sup>2</sup>'den fazla manyetik kuvvete sahiptir.

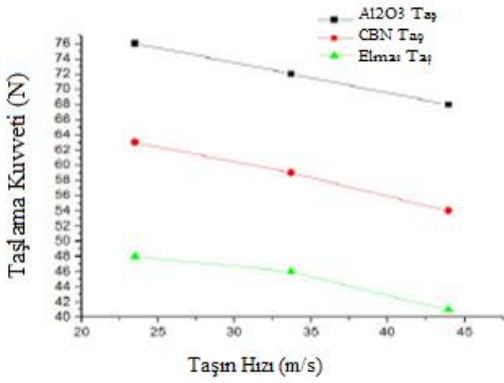
### Soğutma Sistemi

Tüm taşlama makinaları soğutma sistemleri ile kullanılmaktadır. Bu sistem, kesme işleminin neden olduğu sıcaklıklar nedeniyle iş parçasının bozulmasını önler. Bu taşlama makinasında sodyum karbonat çözeltisi soğutma sisteminde kullanılmıştır. Alüminyum hariç tüm metallerde sıklıkla kullanılan ucuz bir soğutucu olan sodyum karbonat, 1 galon suda yaklaşık ¼ oranda çözülerek (sal soda) oluşturulur. Alternatif olarak, suyla karıştırılan bor yağı da kullanılabilir.

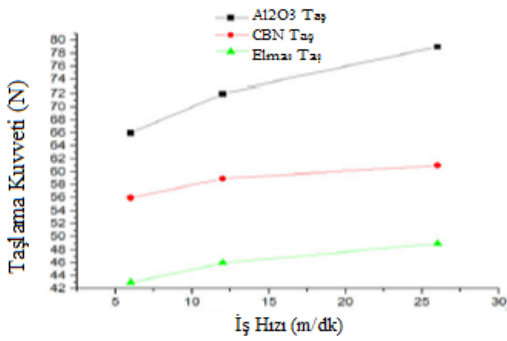
Ayrıca, taşlama taşının üzerine pleksiglas'tan bir koruma sistemi tasarlanmıştır. Manyetik tablanın içerisinde yer alacak bir tepsi modeli, bu modele bağlı su haznesi tasarlanmıştır. Bunun sebebi, soğutma suyunun ve taşlama sırasında oluşan talaşın tepsiye dolduktan sonra hazneye akması ve oluşabilecek iş kazalarının önüne geçmektir. Pleksiglas tercih edilmesinin sebebi, hafif ve şeffaf olmasıdır.

### Tasarım Hesaplamaları

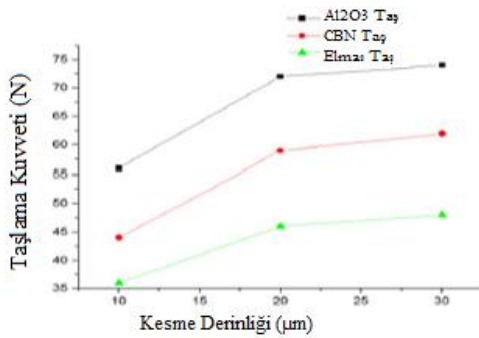
Taşlama taşı hızı, iş parçası hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızının bir fonksiyonu olarak taşlama kuvvetinin değişimi Şekil 4.a, Şekil 4.b, Şekil 4.c ve Şekil 4.d'de gösterilmektedir. Bu grafiklere taşın hızında, iş hızında, kesme derinliğinde ve ilerleme hızında ulaşabileceğimiz en yüksek değerleri öğrenmek için ihtiyaç duyduk. Şekil 4.a'da taşlama taşı 35 m / s hızında hareket etmektedir ve malzemesi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 'tür. Tasarım hesaplamaları için çok önemlidir. Güç, sehim hesabı, taşlama sırasındaki çalışma süresine karar vermek için Şekil 4.a'da görüldüğü gibi taşlama kuvveti yaklaşık olarak 74 N olarak belirlenir. Kesim derinliği 20 mikrometreden büyük olmamalıdır. Besleme hızı 0,10 m/dk altında olmalıdır.



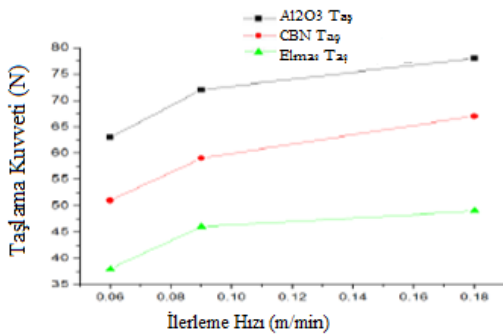
Şekil 4.a: Taşın Hızı ve Taşlama Kuvveti



Şekil 4.b: İş Hızı ve Taşlama Kuvveti



Şekil 4.c: Kesme Derinliği ve Taşlama Kuvveti



Şekil 4.d: İlerleme Hızı ve Taşlama Kuvveti

Şekil 4: Taşlama kuvveti, besleme hızı, kesim derinliği ve ilerleme hızı ile bağlantıları [22].

## Talaş Debisi

Talaş debisi, kesim derinliği, besleme hızı ve dönme hızı kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Z = f \times a_p \times V_{trav} [23] \dots\dots\dots (1)$$

$Z$  = Talaş Debisi (mm<sup>3</sup>/s)

$f$  = Besleme Hızı (mm)

$a_p$  = Kesim Derinliği (mm)

$V_{trav}$  = Dönme Hızı (mm/s)

Tipik Parametreler İçin:

$$f = 0.10 \text{ m/dk} = 100 \text{ mm/dk} = 1.66 \text{ mm/s}$$

$$a_p = 20 \text{ } \mu\text{m} = 0.02 \text{ mm}$$

$$V_{trav} = 20 \text{ cm/s} = 200 \text{ mm/s}$$

$$Z = (1.66) \times (0.02) \times (200) = 6.64 \text{ mm}^3/\text{s}$$

## Güç Hesaplamaları

EKR taşlama taşı, 175 mm çapında ve 20 mm genişliğinde seçilmiştir. Makina, çelik malzemeleri taşıyacağından, 2000 - 3000 Knoop Hardness sertliğine sahip [24] alüminyum oksit taşlama taşı seçilmiştir. Bu taşlama taşı, titanyum karbür, silisyum karbür, CBN ve elmas taşlama disklerinden daha ucuzdur.

Seçilen taşlama tekerleğinin çapı 175 mm'dir. Önerilen hız 35 m/s.

$S$ : m/dk

$$35 \text{ m/s} = 2100 \text{ m/dk}$$

$$RPM = \frac{S \times 1000}{\pi \times D} [24] \dots\dots\dots (2)$$

$$RPM = (S \times 1000) / (\pi \times D) = (2100 \text{ m/dk} \times 1000) / (\pi \times 175 \text{ mm}) = 3819 \text{ rpm}$$

Bu nedenle, izin verilen taşlama hızı seçilen taş için güvenlidir.

Motor için gerekli güç:

$$P = F_t \times (V_s \pm V_w) [24] \dots\dots\dots (2)$$

$F_t$  : Teğetsel kuvvet / Taşlama Kuvveti (Şekil 4)

$F_n$  : Normal kuvvet  $F_n = m \cdot g$   $F_n = 10.2024 \text{ N}$

(Taşlama taşının ağırlığı)

$$F_t = 74 \text{ N}$$

$$V_s = 35 \text{ m/s}$$

$$V_w = 20 \text{ cm/s (Doğrusal hız)}$$

$$P = 74 \times (35 + 0.2) = 2604 \text{ W} = 2.6 \text{ kW}$$

$$P = 74 \times (35 - 0.2) = 2575 \text{ W} = 2.575 \text{ kW}$$

Özgül Kesme Enerjisi:

Kaynak [23]'den.  $Ws/mm^3 \rightarrow 13.6 - 68.2$

$P_c$  = Özgül kesme enerjisi  $x$  talaş debisi -  $6.64 mm^3/s$

$P_c = 13.6 x 6.64 = 90.3 W$

$P_c = 68.2 x 6.64 = 452.8 W$

Taşlama gücü bu değerler arasında olmalıdır  $90.3W < 452.8W$  per  $mm^3$ .

### Taşlama Süresi

Taşlama makinasının tablası x ve y yönünde hareket eder. İşleme süresi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$T_m = \frac{b_w}{2 x f x n_r} [23] \dots\dots\dots (3)$$

$b_w$  = Malzemenin genişliği (mm)

$f$  = Besleme hızı (mm)

$n_r$  = İleri-Geri çalışma sıklığı

$b_w = 40$  mm

$f = 1.66$  mm/s

$n_r = 1$

$T_m = 40 / (2 x 1.66 x 1) = 12.04$  s

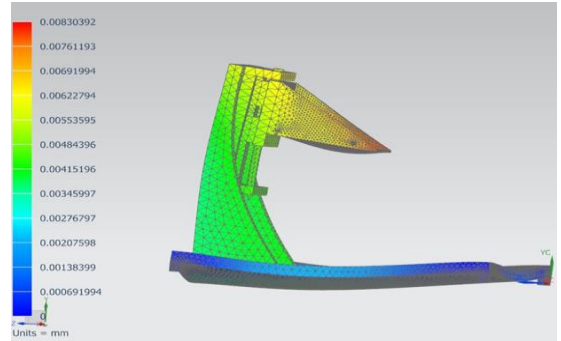
### SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu elemanlar analizi bir makinanın üretilmeden önce tasarımlarının gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı veya uç limitlerini belirlemek amaçlı kontrol edilmesini sağlar. Taşlama makinesi için kullanılmasının sebebi; fiziksel prototip ve deneylerin sayısını azaltmak ve kullanılacak malzemeleri tasarım aşamasında optimize etmektir. Bu nedenle, biz taşlama makinasının taşlama hassasiyeti için sehim analizi yapıldı. Taşlama makinasının sırt kısmına epoksi yapıştırıcı yardımı ile taşlama taşı için kullanılacak olan spindle motorun taşıma aparatı yapıştırıldı. Z ekseninde oluşabilecek kuvvet sebebiyle sehim en aza indirgenmeye çalışıldı. Tasarım ve sehim hesaplamaları için NX 11 programı kullanılmıştır ve hesaplamalara göre makina için uygun olan malzemelerin seçimi yapılmıştır. İyi bir taşlama makinesi 10 mikrondan daha az hataya sahip olmalıdır. Makinamızın sapma değeri ise en fazla 8 mikron olarak hesaplanmıştır.

### YÜZEY TAŞLAMA MAKİNASININ İMALATI VE MONTAJI

Alüminyum honeycomb petek paneli dekupaj testeresiyle kesilerek üretime başlanılmıştır. Honeycomb peteğinin yapısal gövdesi nedeniyle delme işlemi uygulanamamaktadır, bu yüzden kesilen parçaları alüminyum honeycomb petek yapısının montaj şekli olan epoksi yapıştırıcı ile bağlandı. Spindle motor tutucusu olarak giyotin ile çelik bir malzeme kesilip kaynak yapıldı. Spindle motorun montajı için çelik üzerinde delikler açıldı.

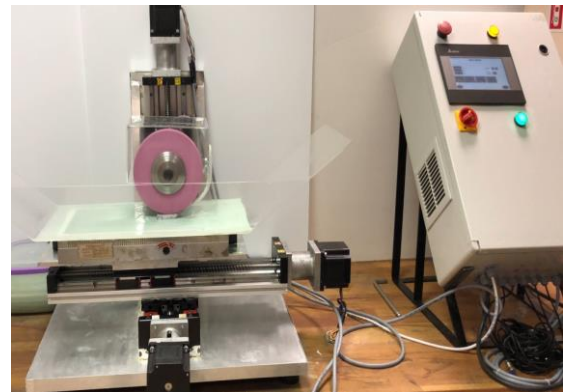
Kaynak ve delme işlemlerinden sonra, taşlama işlemi ile çeliğin yüzeyi temizlendi ve boyandı. Manyetik tabla ve x ekseninde araba arasında alüminyum bir parça üretildi. Bu parça vidalama yöntemi ile linear modülün arabasına monte edildi. Su tankı, koruma kapağı ve manyetik tablanın yerleştirildiği tepsi pleksiglastan üretildi. Motorları ve kızakları bağlamak için flanş kaplinler üretildi. Bu malzemeler yerleştirildi ve aralarına bağlantı elemanları uygulandı. Elektrik paneli, dokunmatik ekran ve elektrikli ekipman özel olarak geliştirildi. Motorlar ve elektrik sistemleri için sağlanan malzemeler bağlandıktan sonra, elektrik panosunun içine yerleştirildi.



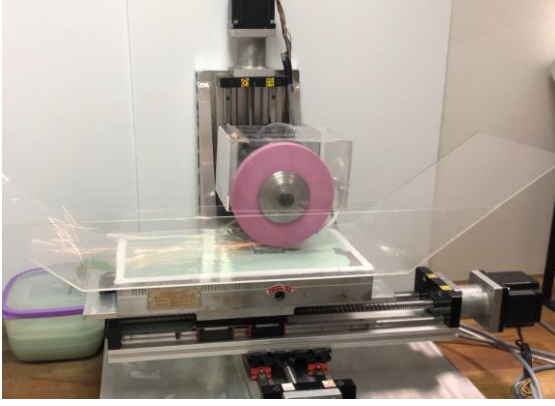
Şekil 5: Taşlama makinasının çalışma konumunda sonlu elemanlar analizi kullanılarak büyütülmüş sehim analizi.

### YÜZEY TAŞLAMA MAKİNASININ DENENMESİ

Taşlanan örneklerinin düzlüğünü ve pürüzlülüğünü kontrol etmek için testler yapıldı. Öncelikle elmas uç kullanılarak taşlama taşı düzeltildi. Manyetik tabla üzerine 10 cm ara ile kalınlıkları 10.66 mm olan, başka bir yüzey taşlama makinasında taşlanmış iki blok konuldu. Taşlama işlemi sonucunda kalınlıkları ölçüldü. İkisinin de kalınlığının 10.13 mm olduğu görüldü. Dolayısı ile düzlemsellik hassasiyeti  $< 0.01$  altında olduğu kanıtlandı.



Şekil 6: Taşlama makinesi ve kontrol sistemi



Şekil 7: Taşlama makinası çalışma anı

## SONUÇ

Laboratuvar uygulamaları için küçük örnekleri taşıyabilmek için portatif ve hafif bir yüzey taşlama makinası tasarlanmış ve üretilmiştir. Hafiflik ve esnemezlik sağlamak için, yapısal parçalarda honeycomb petek ve alüminyum malzemeler kullanılmıştır. Taşlama sırasında parçaları tutmak için bir manyetik tabla uygulanmıştır. Makinanın kızaklarında sonsuz vida ve step motorlar kullanılmıştır. Taşlama taşının hızı, x, y ve z eksenlerini hızları ve tüm hareketleri geliştirilmiş CNC sistemi ile kontrol edilmektedir. Düzlemsellik ve pürüzlülük testleri uygulanmıştır. Makinanın düzlemselliğinin  $< 0.01$  mm altında olduğu görülmüştür. Pürüzlülüğün kullanılan taşlama taşı ile de ilgili olmasına rağmen, bu değer  $0.760 \mu\text{m}$  ile  $1.140 \mu\text{m}$  arasında olduğu görülmüştür.

Bu şekilde tasarlanan yüzey taşlama makinasının tasarım kriterlerine uyduğu gözlemlenmiştir.

## DESIGN AND MANUFACTURING OF A PORTABLE LIGHTWEIGHT GRINDING MACHINE

A new portable and lightweight grinding machine is designed and manufactured to grind metallic specimens for laboratory environment. It uses a magnetic table for holding the parts. A three axes CNC control is developed for control of the grinding process. The structure of the machine is built using honeycomb and metallic parts to reduce weight and to provide the required rigidity. Finite Element Method is used for the deflection analysis of the structure. Under grinding conditions, maximum deflection is  $< 0.01$  mm. Coolant system is provided to keep the temperature of the process under control. Experiments on the manufactured machine are conducted and surface measurements on the ground specimens are obtained to measure flatness and roughness.

**Keywords:** Grinding Machine, Design, Manufacturing, Experiments, Surface Properties

## TEŞEKKÜRLER

Yazarlar, ATILIM Üniversitesi, ARGEDA-TTO'ya ATÜ-LAP-1819-08 proje numarası ile verdikleri desteğe, İmalat Mühendisliği Bölümüne, Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'ne, imalatın yapılması için sağlanan olanaklar ve teknisyenler Bülent Aydoğan ve Nevzat Mert Duman'a sağladıkları destek için teşekkür ederler.

## KAYNAKÇA

1. Lynch, A. J. & Rowland, C. A. (2005). The history of grinding. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
2. Darling, S. (1853). U.S. Patent No. US9976A. "Apparatus for Grinding and Shaping Metals" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
3. Reynolds, A. R. (1867). U.S. Patent No. US62566A. "Machine for Grinding Metal Plates" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
4. Steenbergh, J. H. (1867). U.S. Patent No. US70479A. "Improvement in Metal Planers" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
5. Thomas, A. (1867). U.S. Patent No. US70483A. "Lathe Way Smoother" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
6. White, E. A. (1869). U.S. Patent No. US96066A. "Grinding Metal Plates" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
7. Pitkin, J. H., & Lane, J. S. (1870). U.S. Patent No. US108822A. "Machine for Grinding & Polishing Metal" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
8. Newman, M. (1874). U.S. Patent No. US151669A. "Improvement in Metal Shaping & Pressing Machines" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
9. Disston, H. (1874). U.S. Patent No. US156989A. "Improvement in Saw Grinding Machines" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
10. Coleman, J. A. (1888). U.S. Patent No. US376814A. "Golem an Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
11. Hyde, E. R. (1889). U.S. Patent No. US405706A. "Surface Grinding or Planning Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

12. Watnous, G. W. (1891). U.S. Patent No. US453297A. "Honing Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
13. Matthews, R. C. (1907). U.S. Patent No. US876372A. "Surface Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
14. Vernon, G. B. (1920). U.S. Patent No. US1412725A. "Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
15. August, H. (1935). U.S. Patent No. US2055351A. "Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
16. Bell, R. M. (1966). U.S. Patent No. US3448023A. "Belt Type Electro-chemical (or Electrolytic) Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
17. Berner, G. (1992). U.S. Patent No. US5398454A. "Surface Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
18. Witters, G. F. Petrus, J., Vliet, V., & Muller, J. H. (1997). "Grinding Machine" C.A. Patent No. CA2291264A1. Canada.
19. Chung, L. H. (1999). U.S. Patent No. US6110028A. "Retarding Device of a Grinding Machine" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
20. Kleider, A. (2003). U.S. Patent No. US7014547B2. "Portable Grinding Machine With Protective Cover" Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
21. Wilson, M. D. Wilson, S. D. & Hageniers, O. L. (2011). "Multiple Spinner Carousel for Dressing a Grinding Wheel" U.S. Patent No. USD665830S1. Everett, WA (US), Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
22. Truong, P. Wiggins, R. & Wiggins, S. (2014). "Drive System for orbital grinder" U.S. Patent No. US9604341B2. Taoyuan County (TW), DC: U.S. Patent and Trademark Office.
23. Liaw, Y. J. Kalem, S. K. L. & Liao, Y. (2014). "Pneumatic machine tool" U.S. Patent No. USD740635S. Tokyo (JP), DC: U.S. Patent and Trademark Office.
24. [24] Nishimura, Y. (2015). "Grinding apparatus and grinding method" U.S. Patent No. US10286520B2. Zürich (CH), DC: U.S. Patent and Trademark Office.
25. [25] Weber, J. Ribbeck, K. M. & Blasberg, H. (2016). "Method for operating a gear cutting machine" U.S. Patent No. US10185302B2. Klingelnberg AG , Zürich, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
26. Wyman, H. (2016). "Method for finish machining of a bevel gear in a region of a tooth head, machine for machining bevel gears, and grinding tool for use in association therewith" U.S. Patent No. US10252360B2. Zurich (CH), DC: U.S. Patent and Trademark Office.
27. Mahamani A. & Jawahar S. (2018). "Influence of grinding parameters on grinding force and temperature in grinding of AA6061-TiB2/ZrB2 in-situ composite". The 3rd International Conference on Materials and Manufacturing Engineering 2018, Tamilnadu, India, p. 1-7.
28. Boothrdyd G. & Knight W.A. (1989). "Fundamentals of machining and machine tools", ISBN: 0-8247-7852-9, Marcel Dekker, New York.
29. Trent E. & Wright P. (2000). "Metal Cutting", ISBN 0-7506-7069-X, Butterworth-Heinemann, Boston.