

T.C.  
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRO TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİ İÇİN CNC FREZE TEZGAHININ  
STATİK YAPISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKER YETKİN ÖZDEMİR

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. MEHMET AYDIN

BİLECİK, 2021

10372521

T.C.  
BİLECİK ŐEHY EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRO TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİ İÇİN CNC FREZE TEZGAHININ  
STATİK YAPISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKER YETKİN ÖZDEMİR

TEZ DANIŐMANI

DOÇ. DR. MEHMET AYDIN

BİLECİK, 2021

10372521

## BEYAN

“Mikro Talaşlı İmalat İşlemleri İçin Cnc Freeze Tezgahının Statik Yapısal Analizi” adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda: projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>		<input type="checkbox"/>	<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>
		<input checked="" type="checkbox"/>	<b>X</b>
Destek alındı ise;			
<b>Destekleyen Kurum:</b>			
<b>Desteğin Türü</b>		<b>Proje Numarası</b>	
<b>1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)</b>			
<b>2- TÜBİTAK</b>			
<b>Diğer; .....</b>			

**Türker Yetkin ÖZDEMİR**

**2021**

## ÖN SÖZ

Bu tez/proje/sanatta yeterlik çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet AYDIN'a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu günlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli aileme teşekkür ederim.

**Türker Yetkin ÖZDEMİR**

**2021**



## ÖZET

### MİKRO TALAŞLI İMALAT İŞLEMLERİ İÇİN CNC FREZE TEZGAHININ STATİK YAPISAL ANALİZİ

Bu çalışmada, mikro frezeleme işlemleri için özel olarak geliştirilen CNC (bilgisayarlı nümerik kontrol) freze tezgahının sonlu elemanlar (FE) yöntemine dayanarak yapısal analizi gerçekleştirilmiş ve farklı yapısal koşullar altında gerilme ve deformasyon dağılımı hesaplanmıştır. Analiz sürecinde, belirli sınır koşulları ve iş miline uygulanan kuvvet altında yan plakalarda oluşan gerilme yığılmaları ve deformasyon miktarları incelenmiştir. Yan plakalar için çeşitli modeller tasarlanmıştır. Bu tasarımlar yan plakaların iç köşe kavis yarıçapı ve dış köşe pah ölçüsü değiştirilerek ve parçalı yan plaka oluşturularak yapılmıştır. Yan plakalar için farklı eleman boyutları kullanılarak ağ boyutu analizi de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, parçalı yan plaka analizinde alt parçanın neredeyse rijit bir davranış sergilediği görülmüştür. Yan plaka üst parçası için optimum kavis yarıçapı da belirlenmiş ve dış köşelerin sonuçlar üzerinde çok önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Vidalı mil, destek milleri ve iş mili yatağı için de analizler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda destek millerinin gövdeden çıkartılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gerilme, Deformasyon, Mikro İşleme, Sonlu Eleman Analizi, Takım Tezgahı, Model Optimizasyonu

## ABSTRACT

### STATIC STRUCTURAL ANALYSIS OF A CNC MILLING MACHINE TOOL FOR MICRO MACHINING PROCESSES

In this study, the structural analysis of the CNC (computer numerical control) milling machine developed specifically for micro milling operations was performed based on the finite element (FE) method and the stress and deformation distribution was calculated under different structural conditions. In the analysis process, the stress accumulation and deformation amounts on the side plates were investigated under the given boundary conditions and force applied to the spindle. Various models have been designed for the side plates. These designs were made by changing the inner corner curve radius and outer corner chamfer dimension of the side plates and making a segmented side plate. The analysis of the mesh size was also performed for the side plates using different element sizes. Based on the results obtained, it was observed that the lower part almost showed a rigid behavior in the segmented side plate analysis. The optimum curvature radius for the side plate upper part was also determined and it was found that the outer corners had no significant effect on the results. Analyzes were also performed for the ball screw, support shafts and spindle bearing. As a result of the analysis carried out, the support shafts were removed from the body.

**Keywords:** Stress, Deformation, Micro Machining, Finite Element Analysis, Machine Tool, Model Optimization

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Pazar Araştırması.....	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. CNC TAKIM TEZGAHI KAVRAMI.....	7
3.1. CNC Takım Tezgahı Tarihi Gelişimi.....	7
3.2. CNC Avantaj ve Dezavantajları.....	7
3.3. CNC Kavramı.....	7
3.4. CNC ve NC Takım Tezgahlarının Özellikleri.....	9
3.5. CNC Takım Tezgahlarının Tasarımı.....	9
3.6. CNC Freze Takım Tezgahı Yapıları.....	10
3.7. Yapı Karşılaştırması.....	10
4. MİKRO FREZELEME İŞLEMİ VE FREZE KISIMLARI.....	13
5. MİKRO FREZELEME KESME KUVVETİ MODELLEMESİ.....	15
6. MİKRO FREZELEME İÇİN CNC TAKIM TEZGAHININ TASARIMI.....	18
6.1. Alt Plaka Tasarımı.....	18
6.2. Tahrik Sistemler Tasarımı.....	19
6.3. X ve Y Eksenleri Tasarımı.....	21
6.4. Z Hareket Ekseni Tasarımı.....	22
6.5. Yan Plaka Tasarımı.....	24
6.6. Genel Mikro İşleme için CNC Freze Tasarımı.....	26
7. MİKRO FREZELEME İÇİN CNC TAKIM TEZGAHI SONLU ELEMAN MODELİ.....	28
7.1. Yan Plakaların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi.....	30

7.1.1. Sonlu Elemanlar Ağı Boyutunun Optimizasyonu .....	30
7.1.2. Parçalı Yan Plaka Analizi.....	31
7.1.3. Kavis Yarıçapı Etkisi .....	34
7.1.4. Pah Kırma Etkisi .....	35
7.2. Z Ekseni Vidalı Mil Analizi .....	36
7.3. Z Ekseni Destek Milleri Analizi .....	37
7.4. İş Mili Yatağı Analizi .....	39
8. SONUÇLAR .....	42
KAYNAKÇA .....	43
ÖZ GEÇMİŞ.....	47



## TABLolar LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 6.1.</b> Alt Plaka Malzeme Özellikleri.....	18
<b>Tablo 6.2.</b> Malzeme Özellikleri.....	27
<b>Tablo 7.1.</b> Yükleme Koşulları .....	30
<b>Tablo 7.2.</b> Yan Plaka Ağ Boyutuna Göre Analiz Sonuçları.....	31
<b>Tablo 7.3.</b> Üç Yöndeki Deformasyon Miktarları .....	32
<b>Tablo 7.4.</b> Maksimum Deformasyon ve Gerilme Miktarları.....	33
<b>Tablo 7.5.</b> Farklı Kavis Yarıçapları İçin Maksimum Deformasyon Ve Gerilme Değerleri	34
<b>Tablo 7.6.</b> Farklı Pah Ölçüleri İçin Maksimum Deformasyon Ve Gerilme Değerleri.....	35
<b>Tablo 7.7.</b> Z Ekseni Vidalı Mil Ağ Boyutuna Göre Analiz Sonuçları .....	36
<b>Tablo 7.8.</b> Z Ekseni Destek Milleri Ağ Boyutuna Göre Analiz Sonuçları.....	38
<b>Tablo 7.9.</b> İş Mili Yatağı Analiz Değerleri .....	41

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.	Çinde Üretilen Mini CNC .....2
Şekil 1.2.	CNC Baron Freze Tezgahı .....3
Şekil 1.3.	TORMACH PCNC 770 CNC Freze Tezgahı .....3
Şekil 1.4.	Endüstriyel Amaçlı Kullanılan Mikro İşleme Freze Tezgahları .....4
Şekil 3.1.	CNC Sisteminin Şematik Diyagramı .....8
Şekil 3.2.	Bilyalı Vidalı Mil Ve Lineer Kızak .....10
Şekil 3.3.	Açık Gövdeli Takım Tezgahı Yapısı Ve Dikey Takım Konumu .....11
Şekil 3.4.	Kapalı Gövdeli Takım Tezgahı Yapısı ve Dikey Takım Konumu .....11
Şekil 3.5.	Yatay Takım Konumlu Açık Gövdeli Takım Tezgahı.....12
Şekil 4.1.	Mikro Frezeleme İle İşlenmiş Mikro Parçalar .....14
Şekil 5.1.	Frezeleme Sırasında Oluşan Diferansiyel Kuvvetler .....17
Şekil 6.1.	Alt Plaka.....18
Şekil 6.2.	Alt Plaka Teknik Çizimi .....19
Şekil 6.3.	Vidalı Mil SCR 1204 .....19
Şekil 6.4.	Vidalı Mil Somunu SFUR 1204.....20
Şekil 6.5.	Vidalı Sil Somun Gövdesi SSG 12 .....20
Şekil 6.6.	Vidalı Mil Uç Yatakları BK 12.....20
Şekil 6.7.	Lineer Kızak SH 15.....21
Şekil 6.8.	Kızak Ve Araba Montajı Genel Tasarımı .....21
Şekil 6.9.	Z Ekseni Vidalı Mil Uç Yataklanması FF 12 .....22

<b>Şekil 6.10.</b>	Z Ekseni İçin Tasarlanan Vidalı Mil Yatağı 6013 .....	22
<b>Şekil 6.11.</b>	Z Ekseni İçin Tasarlanan Vidalı Mil Yatağı Teknik Çizimi .....	23
<b>Şekil 6.12.</b>	Z Ekseni İçin Tasarlanmış Vidalı Mil, Vidalı Mil Yataklaması Ve Vidalı Mil Somunu .....	23
<b>Şekil 6.13.</b>	Z Ekseni İş Mili Yatağının Vidalı Mili Somununa Montajı .....	24
<b>Şekil 6.14.</b>	Z Yan Plaka Tasarımı .....	25
<b>Şekil 6.15.</b>	Yan Plaka Teknik Çizimi .....	25
<b>Şekil 6.16.</b>	Z Mikro Freze Takım Tezgahı Geometrik Modeli .....	26
<b>Şekil 7.1.</b>	Mikro Freze Takım Tezgahının Sonlu Elemanlar Ağı .....	29
<b>Şekil 7.2.</b>	Yan Plakaların Eleman Boyutları .....	30
<b>Şekil 7.3.</b>	İki Parçalı Yan Plaka .....	32
<b>Şekil 7.4.</b>	İki Parçalı Plakanın Deformasyon Değerleri .....	33
<b>Şekil 7.5.</b>	İki Parçalı Plakanın Gerilme Değerleri .....	33
<b>Şekil 7.6.</b>	Kavis Yerleri .....	34
<b>Şekil 7.7.</b>	Pah Kırma Yerleri .....	35
<b>Şekil 7.8.</b>	Z Ekseni Vidalı Mil Eleman Boyutları .....	36
<b>Şekil 7.9.</b>	Vidalı Mil Deformasyon Ve Gerilme Değerleri .....	37
<b>Şekil 7.10.</b>	Z Ekseni Destek Milleri Eleman Boyutları .....	38
<b>Şekil 7.11.</b>	Destek Mili Deformasyon ve Gerilme Değerleri .....	39
<b>Şekil 7.12.</b>	İş Mili Yatağı Ağ Yapısı .....	40
<b>Şekil 7.13.</b>	İş Mili Yatağı Gerilme Değerleri .....	40
<b>Şekil 7.14.</b>	İş Mili Yatağı Deformasyon Değerleri .....	41

## GRAFİKLER LİSTESİ

Sayfa No

<b>Grafik 1.1.</b> İş Parçası Ve Ekipman Boyutu Arasındaki İlişki.....	2
<b>Grafik 4.1.</b> Çalışma Boyutları .....	13
<b>Grafik 5.1.</b> Li Ve Arkadaşları İle Martelotti Talaş Kalınlığı Karşılaştırma .....	15



## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

**CNC** : Bilgisayarlı Nümerik Kontrol

**NC** : Nümerik Kontrol

**CAD** : Bilgisayar Destekli Tasarım

**CAM** : Bilgisayar Destekli İmalat

**FMS** : Esnek İmalat Sistemleri

**CIM** : Bilgisayar Destekli Bütünleşik İmalat

**tc** : Talaş kalınlığı

**tx** : Diş başına ilerleme

**R** : Takım yarıçapı

**N** : Kesici ağız sayısı

**Θ** : Takımın anlık açısal pozisyonu

**Dev** : Devir Sayısı

**he**: Elastik geri esneme

**pe**: Elastik toparlanma oranı

**h**: Anlık talaş kalınlığı

**a**: Kesme derinliği

**q**: (x,y)

$\overline{F_{xc}}, \overline{F_{yc}}$  ve  $\overline{F_{xe}}, \overline{F_{ye}}$  :  $F_x$  ve  $F_y$  ortalama kuvvet bileşenleri

**$K_{tc}, K_{te}, K_{rc}, K_{re}$** : Kesme katsayıları

**kg**: Kilogram

**m**: Metre

**μm** : Mikrometre

**mm** : Milimetre

**GPa** : Gigapascal

**MPa** : Megapascal

**N** : Newton

**s** : Saniye

**dk** : Dakika

**M6** : Metrik 6



## 1. GİRİŞ

Teknolojinin ve ekonominin süregelen gelişimi ile yüksek hassasiyet, yüksek kalite, yüksek üretim oranları ve düşük üretim maliyetleri gibi yeni endüstriyel gereksinimler giderek daha fazla talep görmektedir. Boyutsal doğruluk, bitmiş ürünlerin toleranslarına uygunluk ve üretim oranı gibi gereksinimlerin çoğu daha iyi takım tezgahları ile karşılanabilir. CNC teknolojisinin sayesinde, günümüzde takım tezgahları, insan yetenekleriyle sınırlı kalmamaktadır ve yüksek hassasiyete sahip ürünler çok daha hızlı bir şekilde üretilmektedir.

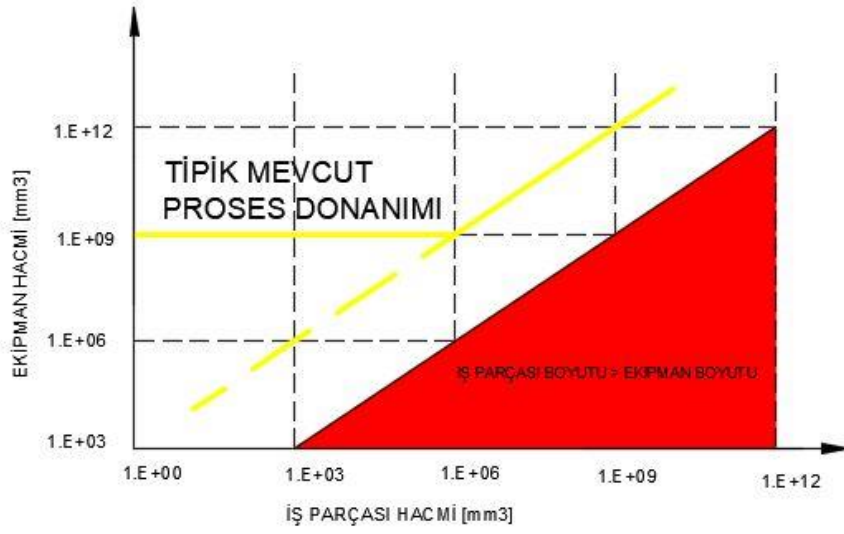
Takım tezgahlarının geleneksel tasarım felsefesi, çok işlevli ve yüksek hassasiyettir. Örneğin, delme, frezeleme ve tornalama işlemlerini gerçekleştirmek için standart bir üç eksenli freze takım tezgahına gezer punta ile birlikte iş milline sahip bir gövde eklenebilir. Başka bir deyişle, bir takım tezgahı birden fazla işlemi gerçekleştirmek için tasarlanabilir. Bununla birlikte, endüstriyel ürünlerin çeşitliliğinin artışı ve küçük ürünlerin gittikçe yaygın kullanımı nedeniyle özel boyutlu ve hassas parçaların imalatında genel amaçla kullanılan takım tezgahları işleme zamanı ve maliyeti açısından çok etkin olarak kullanılamamaktadır. Bu nedenle küçük ölçekli yüksek hassasiyetli takım tezgahı tasarımlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tasarlanacak olan takım tezgahı, küçük parçalar işlemek ve büyük makinelere çok para harcamak istemeyen endüstriyel kuruluşlara yardımcı olacaktır.

Genellikle, takım tezgahının hacmi, işlenecek olan parçanın hacminden  $10^3$  kat daha büyüktür. Grafik 1.1 de görüldüğü gibi, iş parçasının hacmi  $10^6 \text{ mm}^3$ 'ün altında ise artık tipik mevcut proses donanımı geçerlidir. (Ehman vd., 2002)

$10^6 \text{ mm}^3$ 'ün altında hacme sahip parçaları işlemeyebilmek için takım tezgahının doğruluk ve hassasiyeti iyileştirilmelidir. Takım tezgahları daima yüksek hassasiyetli parçalardan oluşturulur. Bu durum, takım tezgahlarının maliyetini önemli ölçüde arttırır. Diğer taraftan, mevcut endüstriyel uygulamalar için küçük parçaların üretilmesi, kullanılan takım tezgahlarının boyutlarının küçülmesine yol açmaktadır.

Daha küçük boyutlu takım tezgahı daha az yer kaplamaktadır. Daha küçük boyutlu parçalar kullanmak takım tezgahını çalıştırmak için gerekli enerji azaltılır. Takım tezgahını imal etmek için daha az malzeme ve parça kullanılarak maliyet büyük ölçüde aşağıya çekilir. Hareketli bileşenin ağırlığını da düşürmek, işleme sırasında titreşim ve gürültünün yanı sıra çevreye verilen kirliliği önemli ölçüde azaltır. Takım tezgahlarının boyutları küçüldükçe daha

fazla taşınabilir hale gelir. Üretim tesisinin yerleşim düzeni daha esnek olabilir. Olası daha hızlı işlemlerden dolayı verimlilik ve imalat hızı da artar.



**Grafik 1.1.** İş Parçası Ve Ekipman Boyutu Arasındaki İlişki

**Kaynak:** (Ehmann vd., 2002:8)

### 1.1.Pazar Araştırması

NC tezgahlarının geliştirilmesi, imalat sektöründe elli yıldan fazla süredir devam etmektedir. Şu anda, teknolojisi oldukça gelişmiş farklı şirketler farklı ürünlerde benzersiz takım tezgahları geliştirmişleridir. Şekil 1.1, Changsha'daki bir Çinli imalat şirketi tarafından üretilen tipik bir mini CNC freze takım tezgahıdır.



**Şekil 1.1.** Çinde Üretilen Mini CNC

**Kaynak:**(Qin, 2013:8)

Üretim faaliyetlerinin çoğu Çin ve Brezilya gibi gelişmekte olan ülkelere kaymış olsa da, batı ülkelerindeki geleneksel takım tezgahı imalatçılarının, yenilikçi tasarımlara odaklandıkları ve yüksek kaliteli takım tezgahları yapmak için yüksek hassasiyetli bileşenler kullandıkları görülmektedir. California'da "CNC MASTERS" adlı bir şirket, Şekil 1.2 de gösterilen mikro frezeleme için CNC Baron Freze Tezgahını 6,575USD karşılığında satmaktadır. Rakip şirketi "TORMACH" tarafından satılan Şekil 1.3 de gösterilen "PCNC 770 CNC MILL" adlı benzer bir ürün, nispeten benzer tezgah boyutuna ve yapısına sahiptir. İki ekonomi karşılaştırıldığında benzer tezgahlar için Çin üreticilerinin fiyatlarının daha uygun olduğu tahmini yapılabilir.



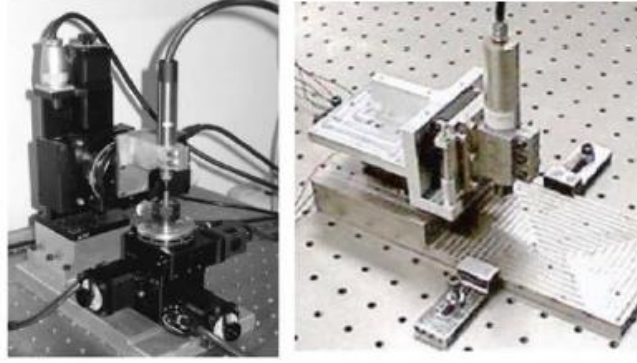
**Şekil 1.2.** CNC Baron Freze Tezgahı

**Kaynak:**(Qin, 2013:9)



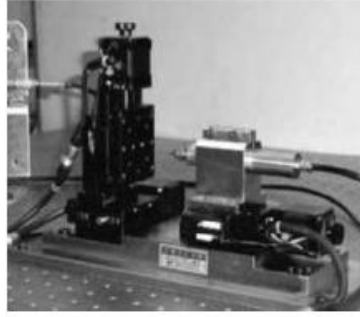
**Şekil 1.3.** TORMACH PCNC 770 CNC Freze Tezgahı

**Kaynak:** (Qin, 2013:9)



a.

b.



c.

**Şekil 1.4.** Endüstriyel Amaçlı Kullanılan Mikro İşleme Freze Tezgahları

**Kaynak:** a.(Bang, 2005:891) b.(Huo, 2010:877) c.(Li,2008:62)

Son yıllarda küçük ölçekli takım tezgahlarının talebi önemli ölçüde artmıştır. 1990'lardan önce, CNC takım tezgah yapıları büyük olduğu için, Ar-Ge uzmanları veya küçük üreticiler için küçük ölçekli CNC takım tezgahları mevcut değildi. Günümüzde, elektrik ve medikal endüstrisindeki modern gelişme, küçük ölçekli parçalara, butik üreticilere, yan sanayilere, ürün geliştiricilerine ve eğitimcilere yönelik talebi daha da artırırken, kullanışlı, uygun fiyatlı, yapılandırılabilir ve taşınabilir bir CNC takım tezgahı sistemi arayışına girilmiştir (Qin, 2013).

Bu çalışmada, mekanik mikro frezeleme işlemleri için özel olarak geliştirilen CNC freze tezgahının sonlu elemanlar yöntemine dayanarak yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Qin tarafından tasarlanan CNC mikro freze takım tezgahı tasarımı Qin sonlu elemanlar analizinde esas alınmıştır. Bu analizlerde yan plaka, vidalı mil, destek milleri, iş mili yatağında optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İlk NC (Nümerik Kontrol) freze makinesi, 1940-1950'lerde Bay John T. Parsons tarafından tasarlanmıştır (Qin, 2013). Günümüzün modern takım tezgahlarını CNC freze tezgahları ve torna tezgahlarıdır. Her tezgahdaki bir mikro işlemci, programlanmış olan işlemleri oluşturduğu ve gerçekleştirdiği G kodlarını programa okutmaktadır. G kodları manuel olarak yazılabilir veya kesicilerin ve takım yolunun oluşturulmasını sağlayan CAM (Bilgisayar Destekli Üretim) yazılımı kullanılarak program yazılabilir.

Takım tezgahları, iş parçasını yerleştirmek veya hareket ettirmek için birkaç eksen ve yeterli çalışma alanı biçiminde tasarlanan birkaç serbestlik derecesine sahip mekanizmalardır. Eksenleri tahrik eden mekanizma, takım ve iş parçası için gereken hareketi sağlar (Lacalle ve Mentxaka, 2008). Takım tezgahının yapısı, makine bileşenlerini destekler ve istenen doğruluk derecesini elde etmek için gereken rijitliği sağlayarak kesme ve diğer kuvvetlere karşı direnç gösterir. Takım tezgahlarının tasarımında boyutsal kararlılık, düşük malzeme genleşme katsayısı ve düşük malzeme sarfiyatı göz önünde bulundurulması gereken temel özellikleridir (Chan ve Hkaing, 2019). Dolayısıyla, takım tezgahı, yüksek sönümlenme ve düşük ısıl bozulma özelliklerine sahip olmalıdır. Bu özellikler tezgahın statik, dinamik ve termal davranışlarını inceleyerek belirlenir.

Takım tezgahı yapısı temel olarak iki parçadan oluşur, birincisi makine yatağı veya şasisidir, ikincisi ise makine şasisi ve yatağı üzerindeki yapısal bileşenlerdir. Bu bileşenler işleme süreçleri ve kesme kuvvetleri göz önüne alınarak tasarlanır. Özellikle taban plakası, yan plakalar, çalışma tablası, mesnetler gibi yapısal bileşenler için sertliği ve hafifliği artırarak takım tezgahlarının yapısal tasarımının iyileştirilmesi sağlanır. Takviye plakalarında yapılan düzenlemeler sayesinde de tezgahdaki malzeme kullanımı ve yapısal sertlik değerlendirilmeye alınmış olur. Dolayısıyla, takviye plakalarının tasarımı, işleme performansı ve enerji tasarrufu açısından önemli bir etmendir.

Takım tezgahlarının davranışlarını incelemek için sonlu elemanlar yöntemi makine üreticileri ve araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmıştır (Srinivasa ve Shunmugam, 2014), (Chen ve Hung, 2016), (Aydın ve Kisioğlu, 2013). Bu yöntem, gerilme ve yer değiştirme hesaplaması gerçekleştirmek için düğüm noktalarında birbirine bağlanan bir dizi elemanı kullanmaktadır ve bir takım tezgahı için optimum tasarım geliştirme süresini azaltır. Takım tezgahının temel yapısal bileşenleri de (makine yatağı, taban, kolon vb.) sonlu eleman teknikleri ile analiz edilmiştir (Sinha ve Murarka, 1988). Takım tezgahı yapısını ve dinamik davranışını

incelemek için bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir (Bianchi ve Paolucci, 1966). CAE (Bilgisayar Destekli Mühendislik) teknikleri ile kesici takım rijitliğini incelenmiştir (Huang ve Lee, 2001). Tornalama işlemlerinde kararlılık özelliklerini analiz etmek ve modeller kurmak için sonlu elemanlar kodu kullanılmıştır (Baker ve Rouch, 2002). Takım tezgahı yapısının dinamik davranışını tahmin etmek için nümerik teknikler kullanılmıştır (Zhang vd., 2003). Farklı kinematiğe sahip beş eksenli takım tezgahlarının rijitlik analizi yapılmıştır (Shneor ve Portman, 2010). Takım tezgahlarındaki termal sorunlar kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir (Mayr vd., 2012), (Mian ve vd., 2012). Takım tezgahlarının performansını değerlendirmek ve geliştirmek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Phillip vd., 2006). Mikro işleme için bir takım tezgahı geliştirilmiş ve bu takım tezgahında yüksek hassasiyetli işleme için çalışmalar yapılmıştır (Wang vd., 2010). Beş eksenli takım tezgahları için farklı servo, geometrik ve dinamik hata kaynakları tanımlanmış ve bu hatalar için değerlendirme yöntemleri bildirilmiştir (Andolfatto vd., 2011). Bireysel kılavuz rayların geometrik hatalarını modellenmiş ve takım tezgahlarının kinematik doğruluğu analiz edilmiştir (Majda, 2012). Son yıllarda, mikro ölçekli tezgahların geliştirilmesi için tasarımlar yapılmış ve X prototip mikro-takım tezgahı geliştirmiştir (Majda, 2012). Kolon tipi beş eksenli küçük ölçekli freze takım tezgahı yapılmıştır (Bang ve Lee, 2005). Dört eksenli küçük ölçekli bir dikey merkezli takım tezgahı tasarlanmıştır (Cox vd., 2006). Küçük ölçekli freze tezgahı geliştirilmiştir (Lee vd., 2006), (Li vd., 2008). Mikro tornalama için bir takım tezgahı sunulmuştur (Adair vd., 2011). Geleneksel takım tezgahlarında görüldüğü gibi, küçük ölçekli takım tezgahları da sonlu eleman metotları kullanarak analiz edilmiştir (Lee vd., 2006), (Jackson vd., 2009), (Lianqing ve Liping, 2009). Polimer kompozitlerin masaüstü takım tezgahı yapılarında kullanımı araştırılmıştır (Cho ve Kim, 2011)

### **3. CNC TAKIM TEZGAHI KAVRAMI**

#### **3.1. CNC Takım Tezgahı Tarihi Gelişimi**

1900 yılından önce takım tezgahlarında sağlamlığı yeterli olmayan takım çelikleri kullanılmıştır. 1900 yılından sonra sağlamlığı test edilmiş iyi bir performans eğrisine sahip takım çelikleri bulunmuştur. Bu durum takım tezgahı işlemlerini hızlandırmış ve üretimi arttırmıştır. Bunlara birçok endüstriyel ürün örnek gösterilebilir türbinler, motorlar, lokomotifler ve otomobiller gibi. 1930lu yılları geçtiğinde daha sert ve avantajlı yapıya sahip çelikler ile üretim hızı ve üretim kalitesi artmıştır.

1945 yılından sonra CAD(bilgisayar destekli tasarım) ve CAM( bilgisayar destekli imalat) birleşerek CAD-CAM oluşturmuşlardır. Bu durum sayesinde FMS( Esnek İmalat Sistemleri) ortaya çıkmıştır. FMS sayesinde stok, muhasebe, kalite ve yönetim gibi bölümleri kapsayan CIM( bilgisayar destekli bütünleşik imalat) sistemleri oluşturulmuştur. (Bozkurt, 2019)

#### **3.2. CNC Avantaj ve Dezavantajları**

- CNC takım tezgahları konvansiyonel tezgahlar ile kıyaslandığında kullanılan master bağlama kalıp vb. elemanların ayarlanma zamanları kısadır.
- Hassas ve seri imalat mümkündür.
- İmalattaki insan faktörü etkisi az olduğu için hata payı azdır.
- Elektrik, malzeme gibi sarfiyatlar en aza indirgenmiş durumdadır.
- Daha az yer kaplar.
- Parça üzerindeki değişiklikler programın bir kısmı değiştirilerek yapıldığı için imalatta esnekliğe sahiptir.
- İlk yatırım maliyetleri fazladır.
- Hassas ve detaylı programlama gerektirir.
- Tezgahın titiz kullanılması ve bakımlarının uzman kişiler tarafından yapılması gerekmektedir.
- Kaliteli kesici takımlar kullanılması gerekmektedir.

#### **3.3. CNC Kavramı**

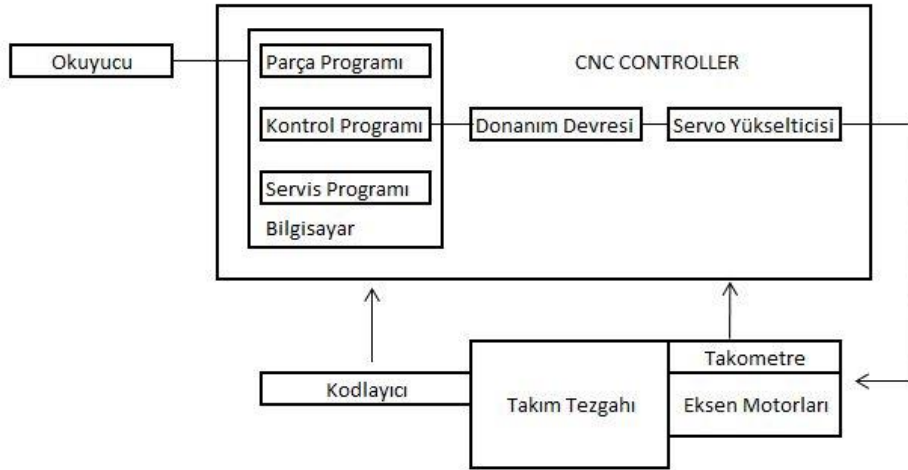
Günümüzün modern takım tezgahları CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) freze tezgahları ve torna tezgahlarıdır. Her takım tezgahındaki mikro işlemciler programlanan ve

oluşturulan G kodlarını okur. Bilgisayarlar parçaları tasarlamak için manuel G kodlarını veya CAM yazılımını kullanarak G kodunu kesici ve takım yolu belirleyerek çıkartırlar.

1970'li yılların başında NC sisteminde özel kontrol birimleri yerine bilgisayarın kullanılmasıyla NC takım tezgahlarında önemli ilerlemeler kaydedilerek CNC takım tezgahları ortaya çıkartılmıştır.

CNC, temel NC işlevlerinin bazılarını veya tümünü gerçekleştirmek için komutlarla kontrol edilen tek bir takım tezgahı için kullanılan bir NC sistemidir. Ağırlıklı olarak esnekliği ve daha az yatırım maliyeti gerektirmesi nedeniyle üretim sistemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (Ehmann vd., 2002).

Geleneksel NC donanımını mümkün olduğunca yazılım ile değiştirmek ve kalan donanımı basitleştirmek CNC sistemlerinin hedeflerinden biridir. Çoğu fonksiyon uygun yazılımla değiştirilebilirken, kalan donanım Şekil 3.1 de gösterildiği dönüştürücü devreleri ve arabirim bileşenlerini içermelidir (Ehmann vd., 2002).



Şekil 3.1. CNC Sisteminin Şematik Diyagramı

**Kaynak:** (Koren, 1983:136)

CNC sisteminin yazılım bölümü bir parça programı, bir servis programı ve bir kontrol programı olmak üzere en az üç ana programdan oluşmaktadır (Koren, 1983). Parça programı, üretilen parçanın geometri tanımını, iş mili hızı ve ilerleme hızı gibi kesme koşullarını içerir. Bu bölüm programını oluşturmak için CAM yazılımı kullanılabilir. Servis programı, parça programını kontrol etmek, düzenlemek ve doğrulamak için kullanılır. Genellikle kullanıcının takım tezgahını kolayca kullanmasını sağlayan bir kullanıcı ara yüzüne sahiptir. Kontrol

programı, parça programını giriş verileri olarak kabul eder ve hareket eksenlerini kullanmak için sinyaller üretir (Koren, 1983).

Çoğu kapalı çevrim CNC sistemleri hem hız hem de konum kontrol döngülerini içerir. Hız geri bildirimini genellikle bir takometre tarafından, konum geri bildirimini kodlayıcı veya çözümleyici tarafından sağlanır (Koren, 1983).

### **3.4. CNC ve NC Takım Tezgahlarının Özellikleri**

NC takım tezgahlarında kullanıcı programda düzeltme yapamaz programı durdurabilir. Ancak CNC takım tezgahlarında kullanıcı programda düzeltme yapabilir. Aynı programı kullanıcı sürekli kullanarak belirli standartta seri imalat yapabilir. CNC tezgahlarda kullanıcı müdahalesi olmadan hammadde imalatı yapılabilir ve kesici takım tezgaha öğretilir ve bu tezgahlarda işlemenin bitiş süresi belirlidir.

### **3.5. CNC Takım Tezgahlarının Tasarımı**

CNC takım tezgahları, geleneksel takım tezgahlarından daha iyi tasarlanmalı, üretilmeli ve daha hassas olmalıdır. Takım değiştirme yöntemlerini geliştirerek ve boşta hareket ederken kullanılan hızları arttırarak kesme zamanı dışında kalan süre azaltılabilir.

Takım tezgahları ile çalışırken yüksek verimlilik ve doğruluk gereklidir. Yüksek üretkenlik daha yüksek ilerleme hızı ve kesme derinliği gerektirdiğinden, ısı ve kesme kuvvetlerini artırır. Bu durum daha yüksek yer değiştirmelere, termal deformasyonlara, takım tezgahının titreşimine yol açacaktır. Bu nedenle, CNC takım tezgahının yapısı, geleneksel takım tezgahlarından daha rijit olmalıdır.

Daha rijit bir yapı elde etmek için tasarımda birkaç faktör göz önünde bulundurulmalıdır ve ilk faktör malzemedir. Konvansiyonel takım tezgahları dökme demirden yapılmıştır. Bununla birlikte, daha iyi dayanım ve rijitlik elde etmek için CNC takım tezgahlarının yapısı, kaynak yapılmış çelik paçalardan oluşturulabilir.

Düşük sürtünmeye sahip hareketli parçalar kullanılarak, hareket kayıplarını önleyerek ve ısı kaynakları izole ederek CNC takım tezgahlarında daha iyi bir doğruluk elde edilir.

Kayan kızaklar kayma sürtünmesinden daha yüksek statik sürtünmeye sahiptir. Statik sürtünmeyi aşmak için kullanılan kuvvet, kılavuz hareket etmeye başladığında artar. Statik sürtünmenin daha düşük olduğu kızaklar ve bilyalı vidalı miller kullanılarak bu durum

önlenebilir (Koren, 1983). Şekil 3.2' de gösterildiği gibi, bilyeli kılavuz vidalı ve dönebilen doğrusal kızaklar gibi yuvarlanma tipi parçalar kullanılabilir.



Şekil 3.2. Bilyalı Vidalı Mil Ve Lineer Kızak

**Kaynak:** (Qin, 2013:16)

Genel olarak, takım tezgahının bileşenlerinde rijit ve güçlü malzeme kullanılmalıdır. İş mili yüksek mukavemete sahip olmalı, yüksek sıcaklıkta çalışmalı ve büyük yataklar tarafından desteklenmelidir.

### 3.6. CNC Freze Takım Tezgahı Yapıları

Makinenin yapısını takım tezgahının bankosu oluşturur ve o makine elamanlarının tümünü tam bir sisteme dönüştürür.

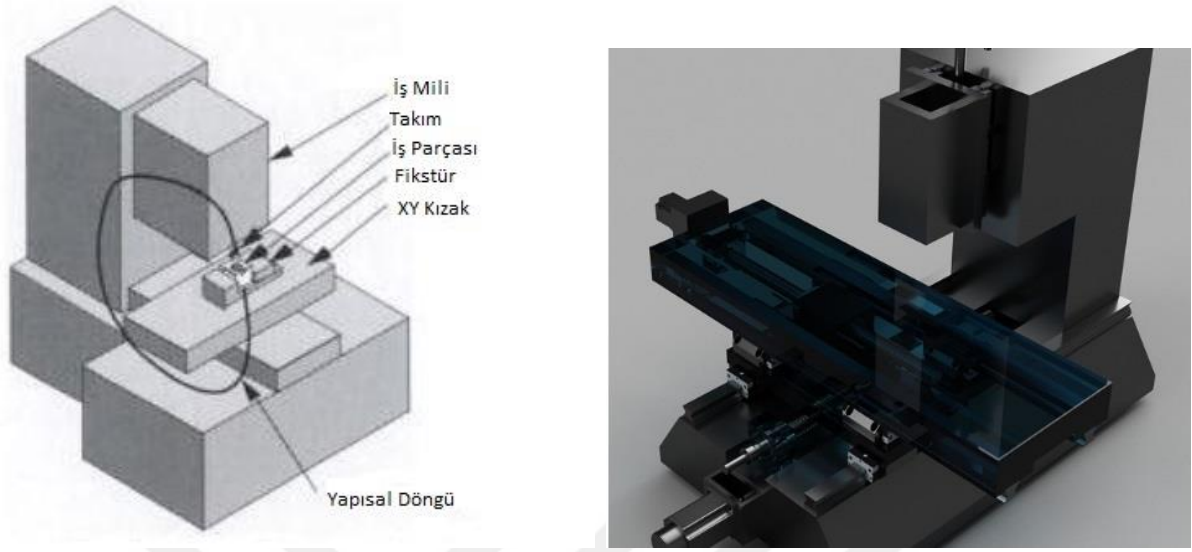
Takım tezgahı yapısı ne kadar iyi ise takım tezgahı performansı da o kadar iyidir çünkü takım tezgahının yapısı, statik ve dinamik rijitliği ve takım tezgahının titreşim sönümleme özelliğini doğrudan etkilemektedir. Dikkatle tasarlanmış bir yapı yüksek rijitlik ve daha hassas çalışma sağlar. Küçük ölçekli bir takım tezgahı, genellikle daha yüksek hızlarda çalıştırıldığı için sıradan büyük ölçekli takım tezgahından daha yüksek rijitlik gerektirir. Yapı tasarımı kısmında takım tezgahlarında kullanılan yapılar karşılaştırılacak ve analiz edilecektir.

### 3.7. Yapı Karşılaştırması

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de gösterilen açık ve kapalı gövde gibi takım tezgahı yapıları kullanılır.

Genel olarak kapalı gövde yapıları simetriktir ve iyi termal stabilite sağlar. Kapalı gövde yapıları tipik olarak koordinat ölçme makinaları gibi büyük hassasiyetli makinelerde kullanılır. İşlenecek veya ölçülecek iş parçaları genellikle büyük ve ağırdır. Bu nedenle, takımı

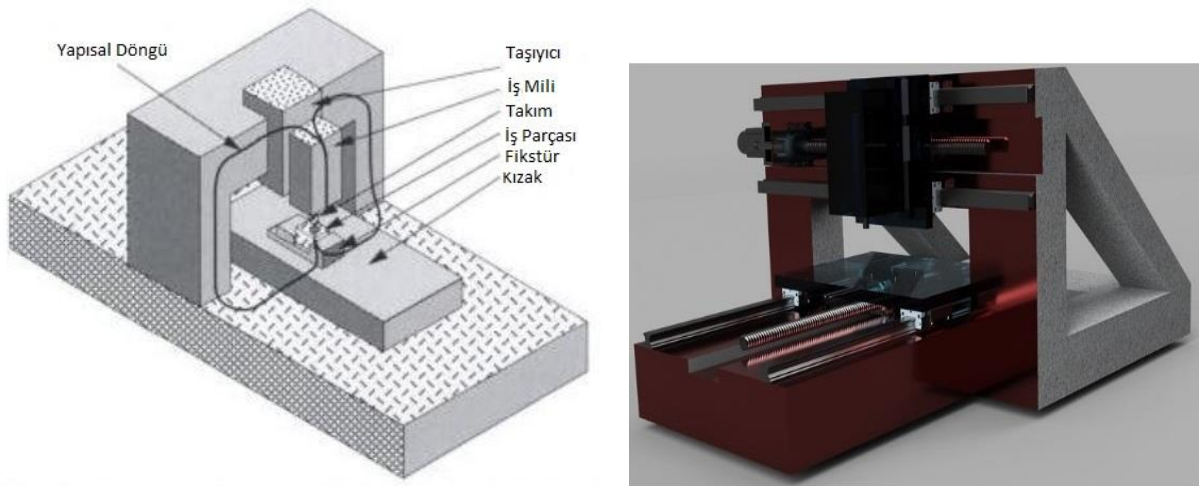
sabit bir iş parçasına göre hareket ettirmek çok daha kolaydır. Bu yapı daha fazla malzeme gerektirir, dolayısıyla imalatı daha pahalıdır.



Şekil 3.3. Açık Gövdeli Takım Tezgahı Yapısı Ve Dikey Takım Konumu

**Kaynak:** (Slocum, 1992:39)

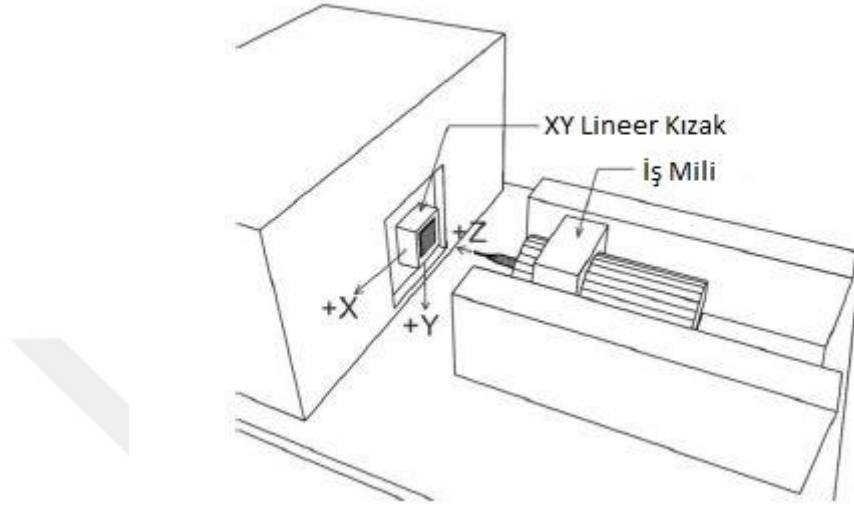
Açık gövde takım tezgahları C veya G şekilli olarak imal edilir. Bu yapı küçük iş parçaları imalatında daha yaygın kullanılır. Yapı asimetrik olmasına rağmen, istenmeyen termal gradyanlara ve eğilme momentlerine yol açsa da, küçük iş parçaları için ideal bir yapıdır. İş parçaları genellikle küçük ve hafiftir, bu nedenle malzeme kaldırma oranı büyük ölçekli takım tezgâhlarına nazaran daha azdır. Bu nedenle termal etkilerin neden olduğu hatalar önemli bir sorun teşkil etmez.



Şekil 3.4. Kapalı Gövdeli Takım Tezgahı Yapısı ve Dikey Takım Konumu

**Kaynak:** (Slocum, 1992:40)

Bu yapıyı inşa etmek için gerekli olan malzeme de kapalı gövde yapısından daha azdır ve dolayısıyla daha ucuzdur. Açık bir gövde yapısında birçok farklı varyasyon vardır. Genellikle, Şekil 3.1 ve Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, takım konumu, dikey ve yatay iş milli olarak iki kategoriye ayrılabilirler.



**Şekil 3.5.** Yatay Takım Konumlu Açık Gövdeli Takım Tezgahı

**Kaynak:** (Qin, 2013:9)

Yatay konfigürasyonda iş parçası, dikey XY düzlemine sabitlenir. XY düzlemindeki Abbe hatası önemli değildir. Çünkü iş parçasının ağırlığı çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Z eksenini boyunca maksimum sertlik sağlamak için mil yatay olarak monte edilir. Bu, küçük ölçekli imalat tezgahları için ideal bir yapıdır. Eğer iş parçasının uzunluğu 10mm-70mm arasında ise iş parçasının uzunluk ölçüğü ile birlikte ağırlık ölçüğü ihmal edilemez çünkü düşey XY düzlemi üzerine iş parçasını bağlamak sorun oluşturur. Bu önemli durum nedeniyle, takım tezgahını tipik dikey takım konumu açık çerçeve yapısına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

#### 4.MİKRO FREZELEME İŞLEMİ VE FREZE KISIMLARI

Mikro işleme hassas parçaları üretmek için kullanılan yöntemdir. Bazı firmalar hassas parçaları üretmek için kendi bünyelerinde mikro işleme için takım tezgahları üretmektedir. Üretim maliyetleri fazla ve kısıtlı parça imalatı yapılabildiği için sınırlı sayıda üretim gerçekleştirmektedir (Bang, 2005).

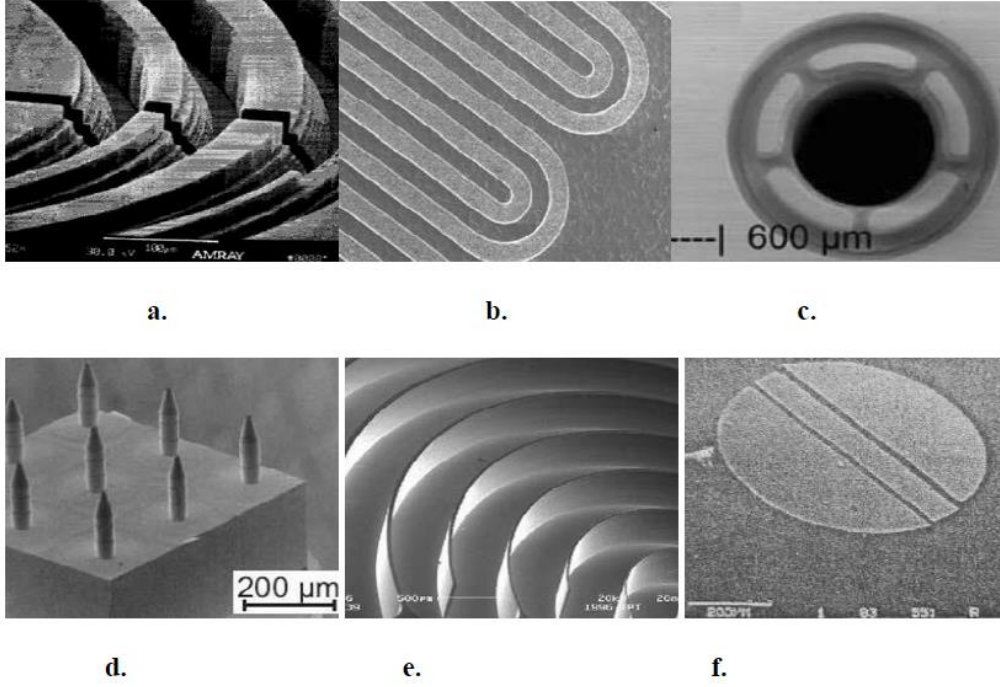
Mikro işleme tezgahlar 10µm ile birkaç milimetre boyut aralığında işleme kapasitesine sahiptir. Konvansiyonel tezgahlar ile operasyon tipleri benzerdir. Fakat mikro işlemede minyatür kesici takımlar kullanılmaktadır. Grafik 4.1 de tezgahların çalışma boyutları gösterilmektedir (Robinson ve Jackson, 2005).



**Grafik 4.1.** Çalışma Boyutları

**Kaynak:** (Bang, 2005:892)

Mikro işleme günümüzde otomotiv, havacılık, biyoteknoloji, sağlık cihazları gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikro işlemenin büyük bir bölümü mikro frezelemede görülür. (Bang, 2005)



**Şekil 4.1.** Mikro Frezeleme İle İşlenmiş Mikro Parçalar

a. Çubuklar b. Reaktör c. Kalıp d. Sıralanmış İğneler e. Duvar f. Nükleer Fizyon İçin Metal Yaprak

**Kaynak:** (Dündar, 2016:430)

Mikro frezelemede iş miline 50 mikron ve 3mm aralığında değişen boyutlarda kesici takımlar bağlanmaktadır. Bu takımlar oluşabilecek büyük kesme kuvvetlerine karşı devir sayıları yüksek olması gerekmektedir. Devir sayıları 20.000 ile 250.000 devir aralığına sahip olması gerekmektedir. Bu kafalar elektronik kontrollü, havalı ve mekanik hız kafalardır. Günümüzde elektronik hız kafaları tercih edilmektedir. Bunun nedeni işleme esnasında oluşacak titreşimleri en aza indirmektir. Mekanik hız kafalarında titreşimin oldukça fazla olacağı tahmin edilmektedir. Havalı hız kafalarında ise hava basıncı ile çalıştığından dolayı basınca oluşabilecek değişiklikler devir sayısında oynama yapacağından dolayı parçada istenmeyen sonuçlara sebep olabilir. Bu sebeplerden dolayı elektronik kontrollü hız kafaları kullanılmaktadır.(Dündar, 2016)

Takım tezgahında alt taban için belirli sertlik, homojenlik, yüksek sönümlenme, maliyet, termal stabilite ve imalat kolaylığı gibi özellikler istenmektedir. Günümüzde bu etmenlerden dolayı granit ve dökme demir tercih edilmektedir. (Huo, 2010)

## 5. MİKRO FREZELEME KESME KUVVETİ MODELLEMESİ

Geliştirilen kuvvet modeli mikro freze takım tezgahında frezeleme esnasında kesme aşamasında oluşacak kuvvetleri görebilmemizi sağlar.

Bu modelde mikro frezelemede oluşan talaş kalınlığı dikkate alınmıştır. Li ve arkadaşları (Li vd., 2007) tarafından hazırlanan çalışmada frezeleme esnasında oluşan talaş kalınlığı konvansiyonel freze tezgahlarında oluşan talaş kalınlığından farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Konvansiyonel frezelemede talaş kalınlığı Martelotti denklemi (5.2.) ile ifade edilirken Li ve arkadaşları (5.1.) de belirtilen formülasyon ile ifade etmiştir.

$$t_c = R \times \left[ 1 - \frac{2t_x \sin\theta}{R + \frac{Nt_x}{2\pi} \cos\theta} - \frac{t_x^2 \cos(2\theta)}{\left(R + \frac{Nt_x}{2\pi} \cos\theta\right)^2} - \frac{t_x^2 \sin\theta \cos^2\theta}{\left(R + \frac{Nt_x}{2\pi} \cos\theta\right)^2} \right] \quad (5.1)$$

$$t_c = t_x \sin\theta \quad (5.2)$$

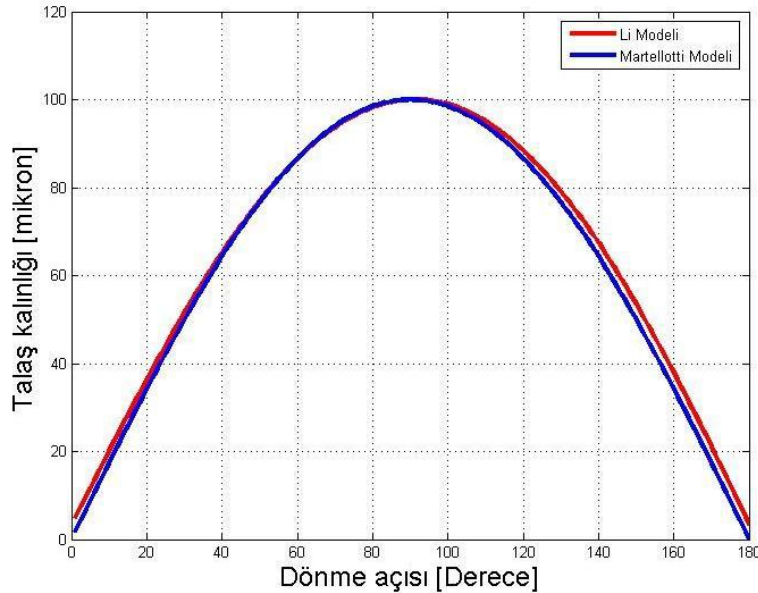
tc: Talaş kalınlığı (mm)

tx: Diş başına ilerleme (mm/dev-diş)

R: Takım yarıçapı (mm)

N: Kesici ağız sayısı

$\theta$ : Takımın anlık açısal pozisyonu



**Grafik 5.1.** Li Ve Arkadaşları İle Martelotti Talaş Kalınlığı Karşılaştırma Tx=100µm/Dev

**Kaynak:** (Mamedov ve Lazoğlu, 2012:177)

Mikro frezelemede kesme derinliği küçük olduğundan dolayı denklem (5.1) de görüldüğü gibi talaş kalınlığı kesici takım yarı çapına yakındır. Bu sebepten dolayı parçada oluşacak talaş kalınlığı minimum talaş kalınlığının altına indiği zaman kesme işleminin gerçekleşmesi kesici takım parça üzerinde sürünür ve parçada plastik ve elastik deformasyona yol açar. Oluşan deformasyonun büyük bir bölümü kalıcı plastik deformasyon olurken geriye kalan elastik deformasyondur ve geri esnemektedir. Geri esnememin kuvvetler üzerinde etki sahibi olacağı düşünülerek geri esneme modeli (5.3) oluşturulmuştur. (Jun vd., 2012)

$$h_{er} = p_e \times h \quad (5.3)$$

he: Elastik geri esneme (mm)

pe: Elastik toparlanma oranı

h: Anlık talaş kalınlığı (mm)

Kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için bilinmesi gereken ilk veriler takıma ve malzemeye bağlı kesme katsayılarıdır. Bu katsayılar kesme hızı ve kesme derinliği sabit tutularak farklı ilerleme hızlarında kuvvetler ölçülür. İlerleme hızı arttıkça kesme kuvvetinin de artacağı bilinmektedir. Belirli aralıkta ilerleme hızları ve oluşacak kesme kuvvetleri ölçülür ve kaydedilir. Grafik çizilerek oluşacak doğrunun denkleminde kesme katsayısı (5.4) hesaplanabilir.

$$\bar{F}_q = \bar{F}_{qc}c + \bar{F}_{qe} \quad (5.4)$$

$$K_{tc} = \frac{4\bar{F}_{yc}}{Na} \quad (5.5)$$

$$K_{te} = \frac{\pi\bar{F}_{ye}}{Na} \quad (5.6)$$

$$K_{rc} = \frac{-4\bar{F}_{xc}}{Na} \quad (5.7)$$

$$K_{re} = \frac{-\pi\bar{F}_{xe}}{Na} \quad (5.8)$$

a: Kesme derinliği (mm)

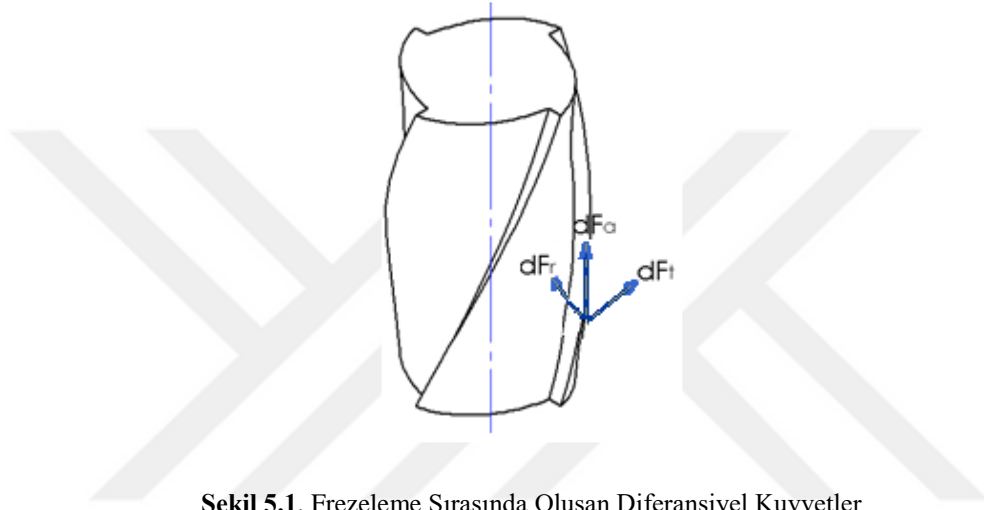
N: Kesici ağız sayısı

q: (x,y)

$\overline{F_{xc}}, \overline{F_{yc}}$  ve  $\overline{F_{xe}}, \overline{F_{ye}}$  :  $F_x$  ve  $F_y$  ortalama kuvvet bileşenleri (Altıntaş ve Ber, 2001)

Kesme kuvvetleri ile oluşturulan kesme katsayıları modele giriş parametresi olarak eklenir. Girilen veriler ile denklem (5.9) oluşturulur ve diferansiyel olarak hesaplanır.  $F_x$ ,  $F_y$  ve toplam bileşke kuvvetler diferansiyel kuvvetlerin toplamı olarak hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} dF_x \\ dF_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \times \left( \begin{bmatrix} K_{tc} h(\theta) a \\ K_{rc} h(\theta) a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{te} a \\ K_{re} a \end{bmatrix} \right) \quad (5.9)$$



Şekil 5.1. Frezeleme Sırasında Oluşan Diferansiyel Kuvvetler

**Kaynak:** (Mamedov ve Lazoğlu, 2012:179)

## 6. MİKRO FREZELEME İÇİN CNC TAKIM TEZGAHININ TASARIMI

Takım Tezgahı tasarımı; Ön tasarımın planlanması, malzemelerin seçilmesi, standart kullanılacak elemanların belirlenmesi, hesaplamaların yapılması, malzeme boyutlarının belirlenmesi, belirlenen tasarım kriterlerine göre CATIA V5 programında üç boyutlu modellenerek imalat resimleri ve malzeme listelerinin oluşturulması ile gerçekleştirilir.

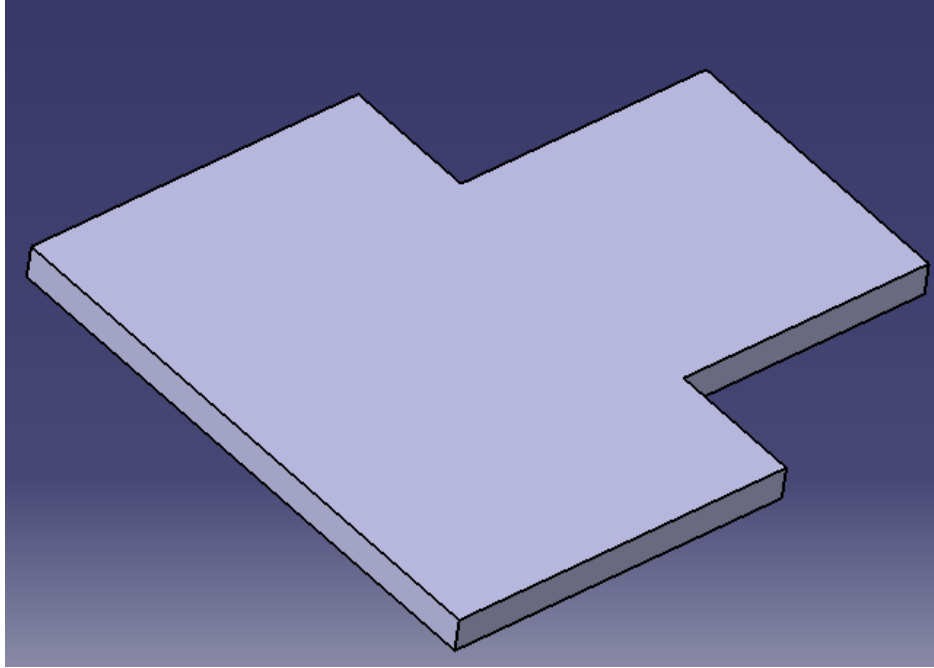
### 6.1. Alt Plaka Tasarımı

CNC takım tezgahlarında yüksek mukavemet, hafiflik, dinamik kararlılık, yüksek rijitlik gibi özellikler istenmektedir.

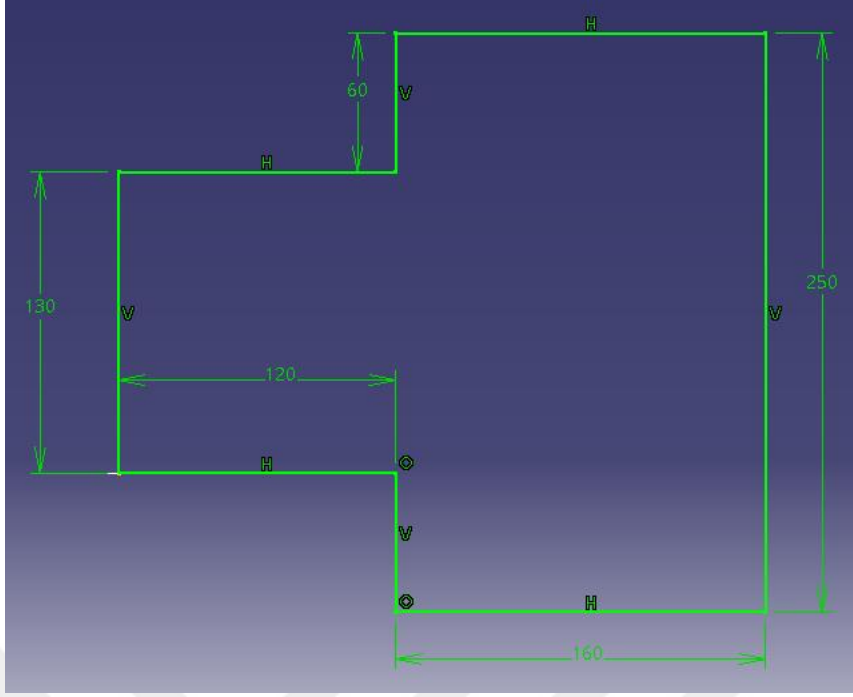
Alt plaka yapıda kullanılan Alüminyum malzeme aksine düşük maliyet, yüksek basma mukavemeti ve mukavemet- ağırlık oranlarının iyi olması sebebiyle dökme demir seçilmiştir.

**Tablo 6.1.** Alt Plaka Malzeme Özellikleri

Parça Adı	Malzeme	Elastikiyet Modülü (GPa)	Possion Oranı	Yoğunluk (kg/m3)
Alt plaka	Dökme Demir	170	0,25	7100



**Şekil 6.1.** Alt Plaka



Şekil 6.2. Alt Plaka Teknik Çizimi

## 6.2. Tahrik Sistemler Tasarımı

Eksenlerin tahrik sistemleri için vidalı mil kullanılmıştır. X ve Y eksenleri boyunca hareketi sağlamak için 300mm boyutlarında 2 adet Z eksenli boyunda hareketi sağlamak için 250mm boyutunda 1204 vidalı mil kullanımı uygun görülmüştür. Kullanılan vidalı milleri yataklamak için X ve Y eksenlerinde 2 adet olmak üzere toplam 4 adet vidalı mil yatağı kullanılmıştır. Z ekseninde vidalı mil yataklaması için 1 adet yatak kullanımı uygun bulunmuştur.



Şekil 6.3. Vidalı Mil SCR 1204

Vidalı mil dönme hareketini eksen hareketine iletmesi için alüminyum vidalı mil somun gövde kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Vidalı mil Somunu SFUR 1204



Şekil 6.5. Vidalı Sil Somun Gövdesi SSG 12



Şekil 6.6. Vidalı Mil Uç Yatakları BK 12

Vidalı millerin uç tarafları yataklamak için tornalanmıştır. Vidalı miller X ve Y eksenleri boyunca motor kısmına yakın olarak ve uç kısma olmak üzere 2 şer adet kullanılmıştır.

### 6.3. X ve Y Eksenleri Tasarımı

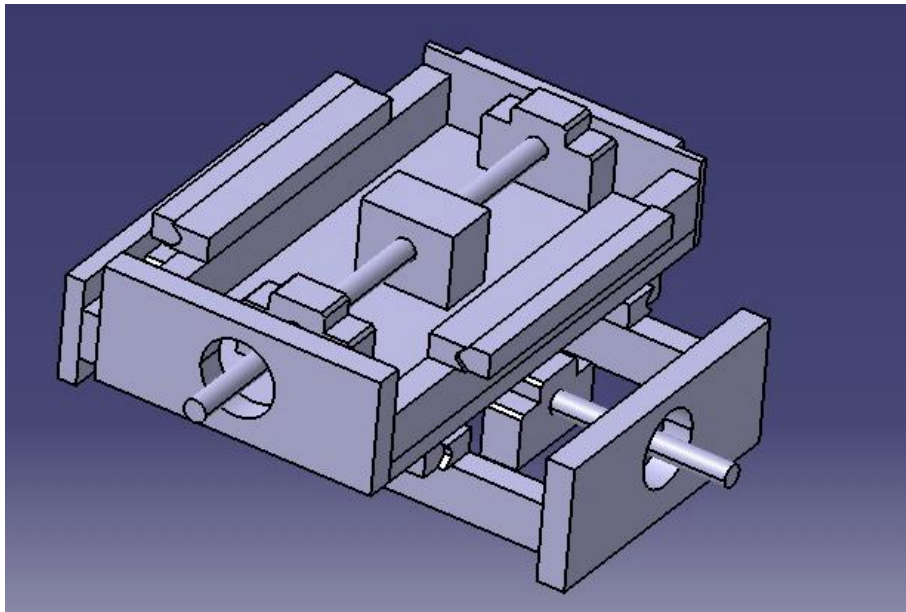
X ve Y eksenleri için kendi eksenlerinde hareket iletimi için 2şer adet lineer ray ve bu raylara uygun genişlikte arabalar kullanılarak aksenal hareket sistemleri yapılmıştır.

X ve Y eksenleri için 15x15mm boyutlarında ve 150mm boyunda lineer kızaklar kullanılmıştır.

Y eksenini için hareketi sağlayacak araba ve kızak takımları alt tabla üzerine monte edilmiştir. X eksenini için hareketi sağlayan araba ve kızak takımları Y eksenini üzerindeki arabaya monte edilmiştir. Y eksenini için hareket üst arabaya iletilerek bu şekilde çalışma tablasının X ve Y eksenlerinde hareketi sağlanmış olur.



Şekil 6.7. Lineer Kızak SH 15



Şekil 6.8. Kızak Ve Araba Montajı Genel Tasarımı

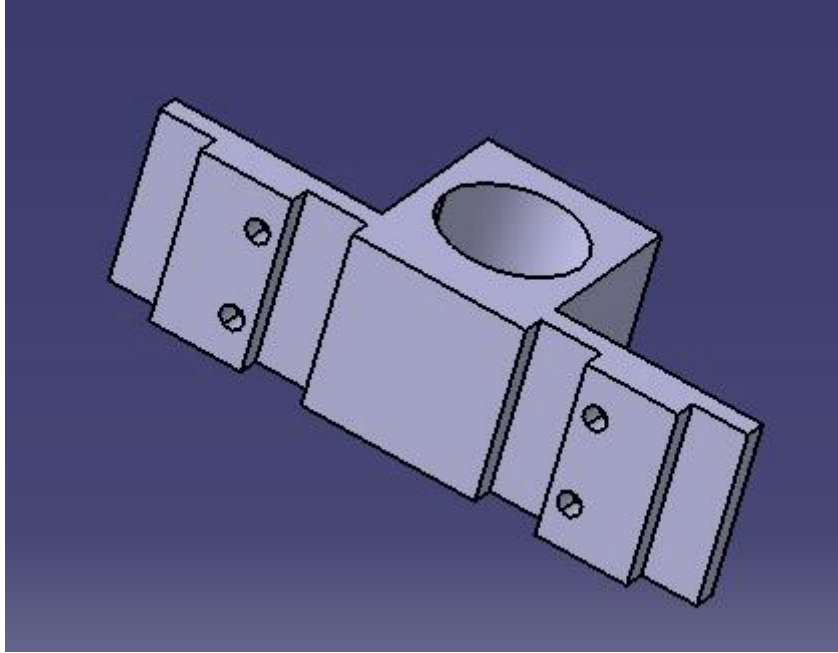
#### 6.4. Z Hareket Ekseni Tasarımı

Z eksenini için 250mm boyunda 1204 vidalı mil ve SFUR 1204 vidalı mil somunu kullanılmıştır. Vidalı milin uç yataklanması için motor kısmına ve Z takım kısmına 1'er adet olmak üzere toplam 2 adet FF 12 vidalı mil uç yataklanması kullanılmıştır.

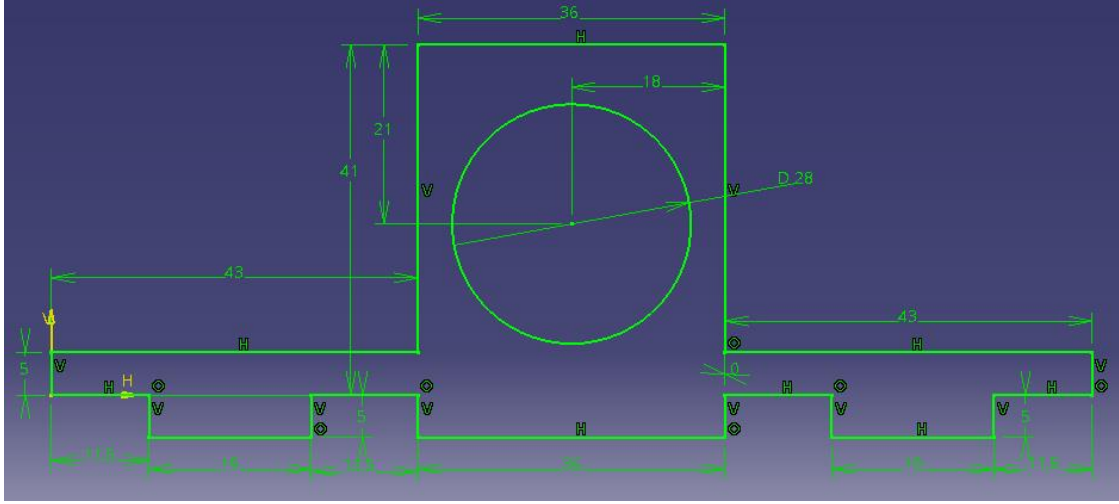


Şekil 6.9. Z Eksenini Vidalı Mil Uç Yataklanması FF 12

Hareketi sağlayan 6013 vidalı mil yatağı tasarlanmıştır ve bu somun 2 taraftan 2 mil ile sabitlenip yataklanmıştır. Bu miller yapıda taşıyıcı görev konumunda olması gerektiği düşünülmüştür. Millerin yataklanması için vidalı mil somununa 2 adet 1204 somun montaj edilmiştir.

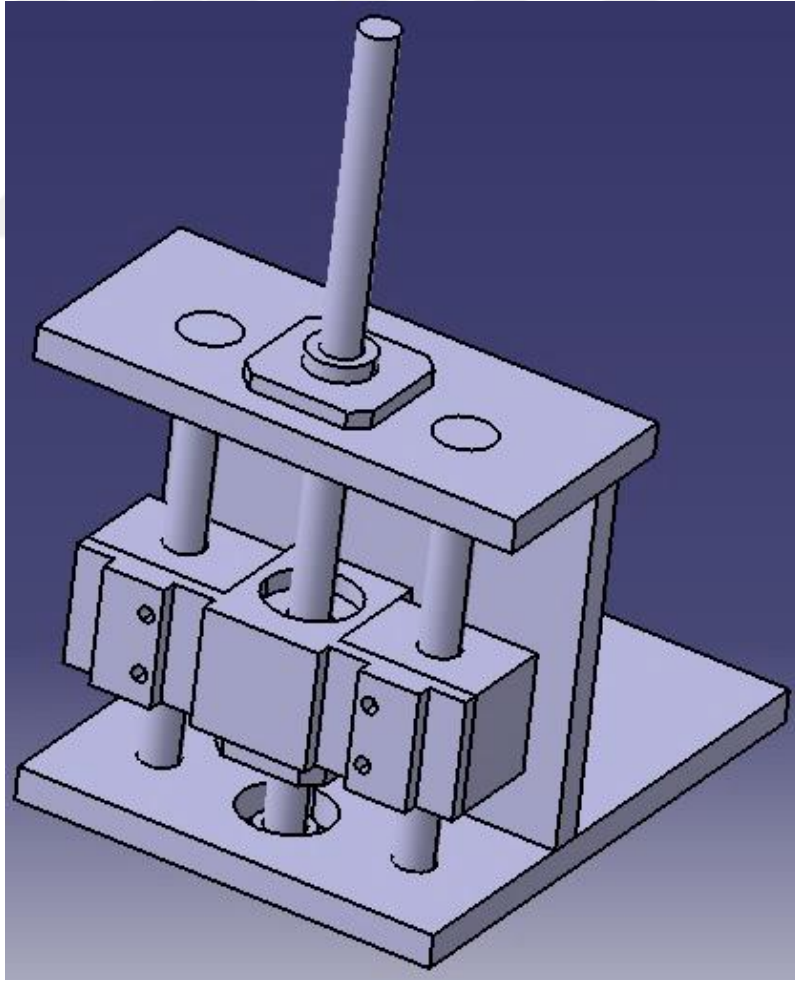


Şekil 6.10. Z Eksenini İçin Tasarlanan Vidalı Mil Yatağı 6013



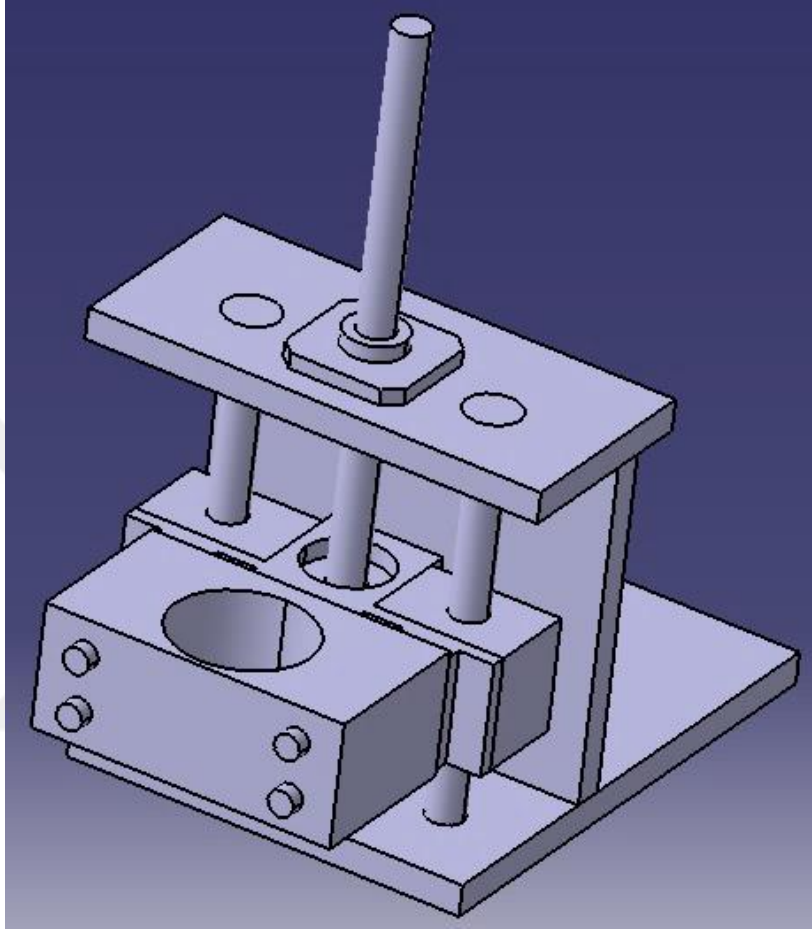
Şekil 6.11. Z Eksenine İçin Tasarlanan Vidalı Mil Yatağı Teknik Çizimi

Tasarlanan vidalı mil yatağına SF 1204 Vidalı mil monte edilmiştir ve bu şekilde Z ekseninde hareketi sağlayan parçalar tasarlanmıştır.



Şekil 6.12. Z Eksenine İçin Tasarlanmış Vidalı Mil, Vidalı Mil Yataklaması Ve Vidalı Mil Somunu

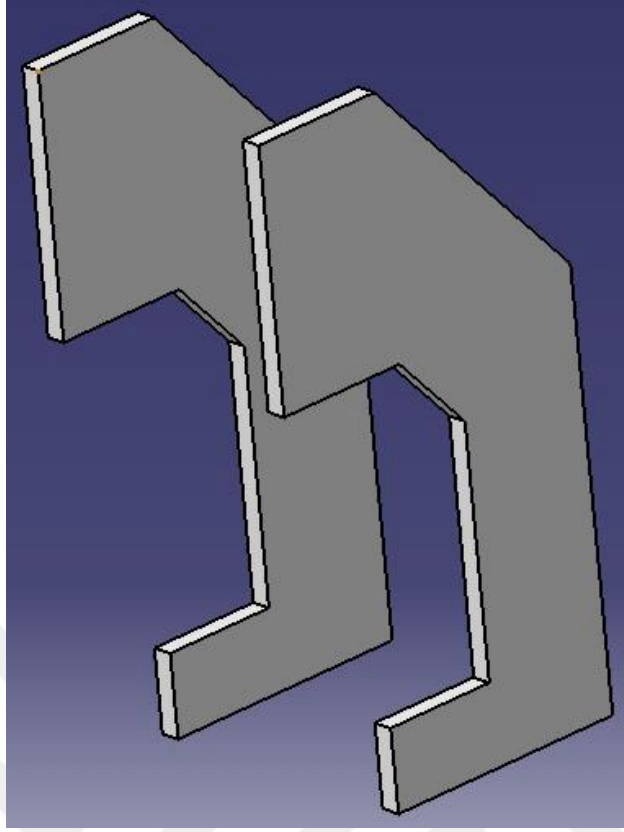
İş mili yataklaması için 6013 alüminyum malzemeden yataklama somunu kullanılmıştır. Bu somun hareketi sağlayan vidalı mil bağlantı somununa 4 adet 8.8 kalite M6 cıvata ile sabitlenmiştir. İş mili ucundaki oluşacak kuvveti tasarlanan civatalar ve taşıyıcı miller gövdeye iletacaktır.



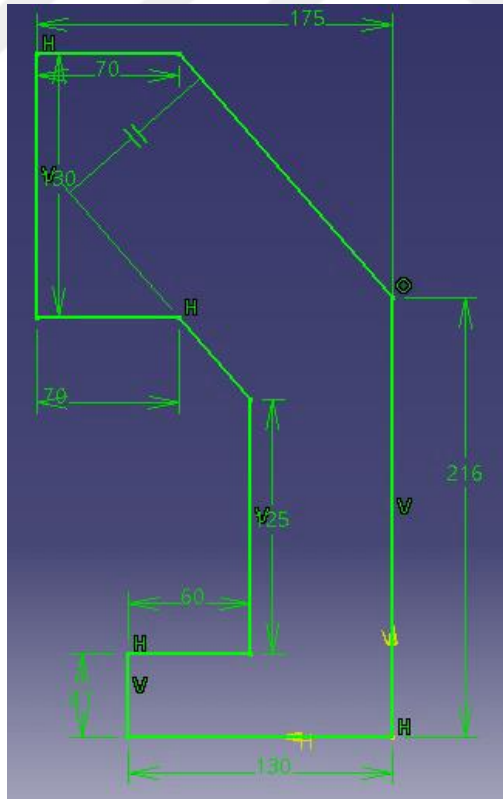
Şekil 6.13. Z Eksenli İş Mili Yatağının Vidalı Mili Somununa Montajı

### 6.5. Yan Plaka Tasarımı

Z eksenli iş mili ucunda oluşacak kuvvetleri taşıması için 2 adet mil yataklanmıştır. Millerde oluşacak moment ana gövdeye yan plakalar ile aktarılır. Bu sebeple yan plakaların tasarımı önem arz etmektedir. Yan plakalar ana gövde de destek görevi görmektedir. Şekil 6.14. ve 6.15. de belirtilen şekilde alüminyum 6013 malzemeden yan plaka tasarımı yapılmıştır.



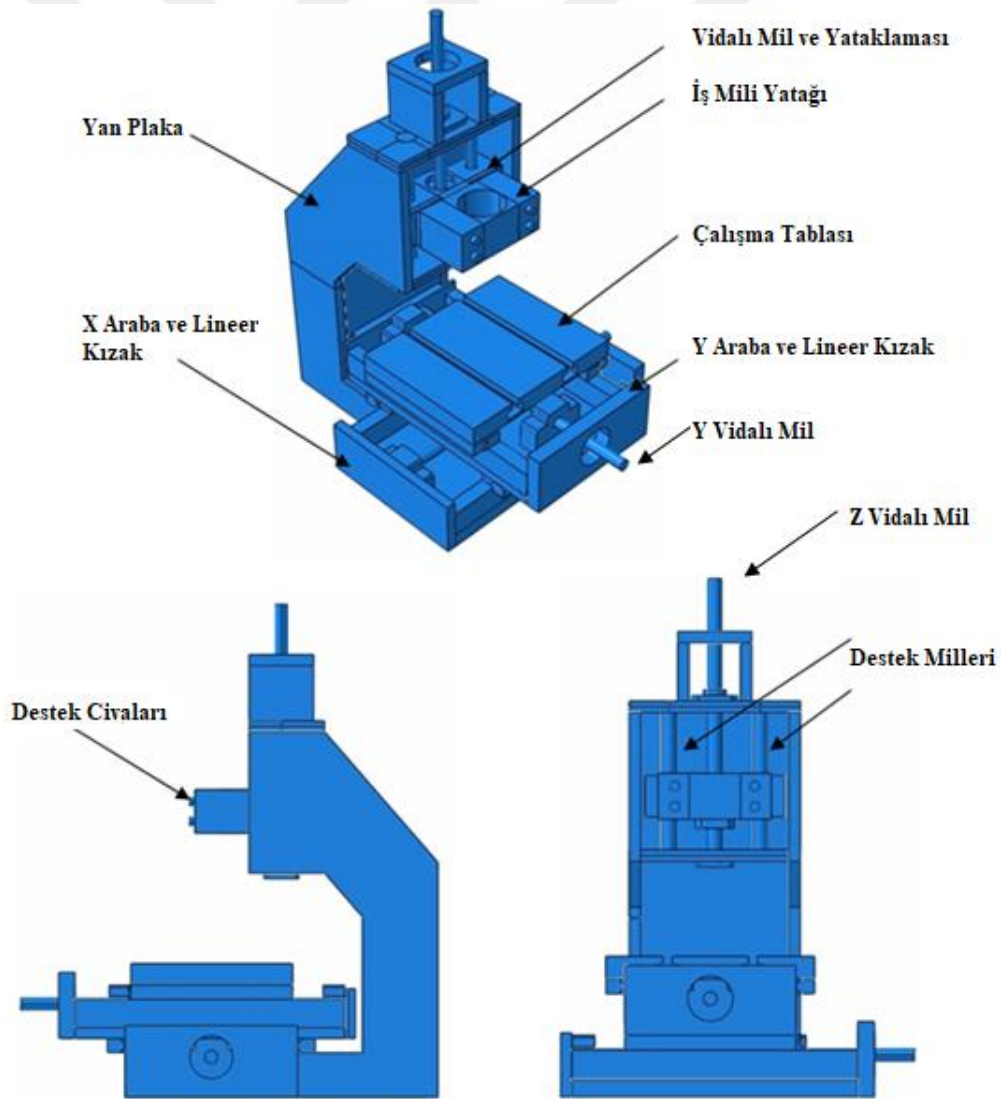
Şekil 6.14. Yan Plaka Tasarımı



Şekil 6.15. Yan Plaka Teknik Çizimi

## 6.6. Genel Mikro İşleme için CNC Freze Tasarımı

Bu çalışmada, Qin tarafından tasarlanan CNC mikro freze takım tezgahı (Qin, 2013) incelenmiştir. Şekil 6.16. CNC mikro freze takım tezgahının geometrik modelini göstermektedir. Takım tezgahı, alt plaka, yan plakalar, vidalı miller, lineer kızak ve iş mili yatağından oluşmaktadır. İş parçasının hareketi için 4 adet lineer kızak ve 2 adet vidalı mil kullanılmıştır. X ve Y lineer kızaklarının genel boyutu 160×275×26mm'dir. Alt plaka 15mm kalınlığına olup, yapının tamamında taşıyıcı görevi görmektedir. Yan plakaların yükseklikleri 336mm'dir ve yapıda moment taşıyacak konumda tasarlanmıştır. Yapının üst kısmında iş mili ve yatağını destekleyen iki adet mil bulunmaktadır. İş mili, mil yatağına monte edilmiştir. Mil yatağının montajı 4 adet M6 civata ile yapılmıştır. Takım tezgahının genel boyutu 290×275×453mm'dir. Tablo 6.2. de takım tezgahı sistemini oluşturan malzemeler ve özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.16. Mikro Freze Takım Tezgahı Geometrik Modeli

**Tablo 6.2.** Malzeme Özellikleri

Parça Adı	Malzeme	Elastikiyet Modülü (GPa)	Possion Oranı	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Alt plaka	Dökme Demir	170	0,25	7100
Diğer Plakalar	AlMg1Si0.8CuMn (6013)	71	0,33	2170
Cıvata (M6)	8.8 kalite	210	0,3	-

## 7. MİKRO FREZELEME İÇİN CNC TAKIM TEZGAHI SONLU ELEMAN MODELİ

Sonlu elemanlar yöntemi 1950li yıllarda kullanılmaya başlanmış ve matematiksel modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile yapılan analizler sonucunda sonuçlar optimize edilerek en optimum düzeye getirilir. Fiziksel testler ile harcanan para ve zaman tasarrufu sağlanır.

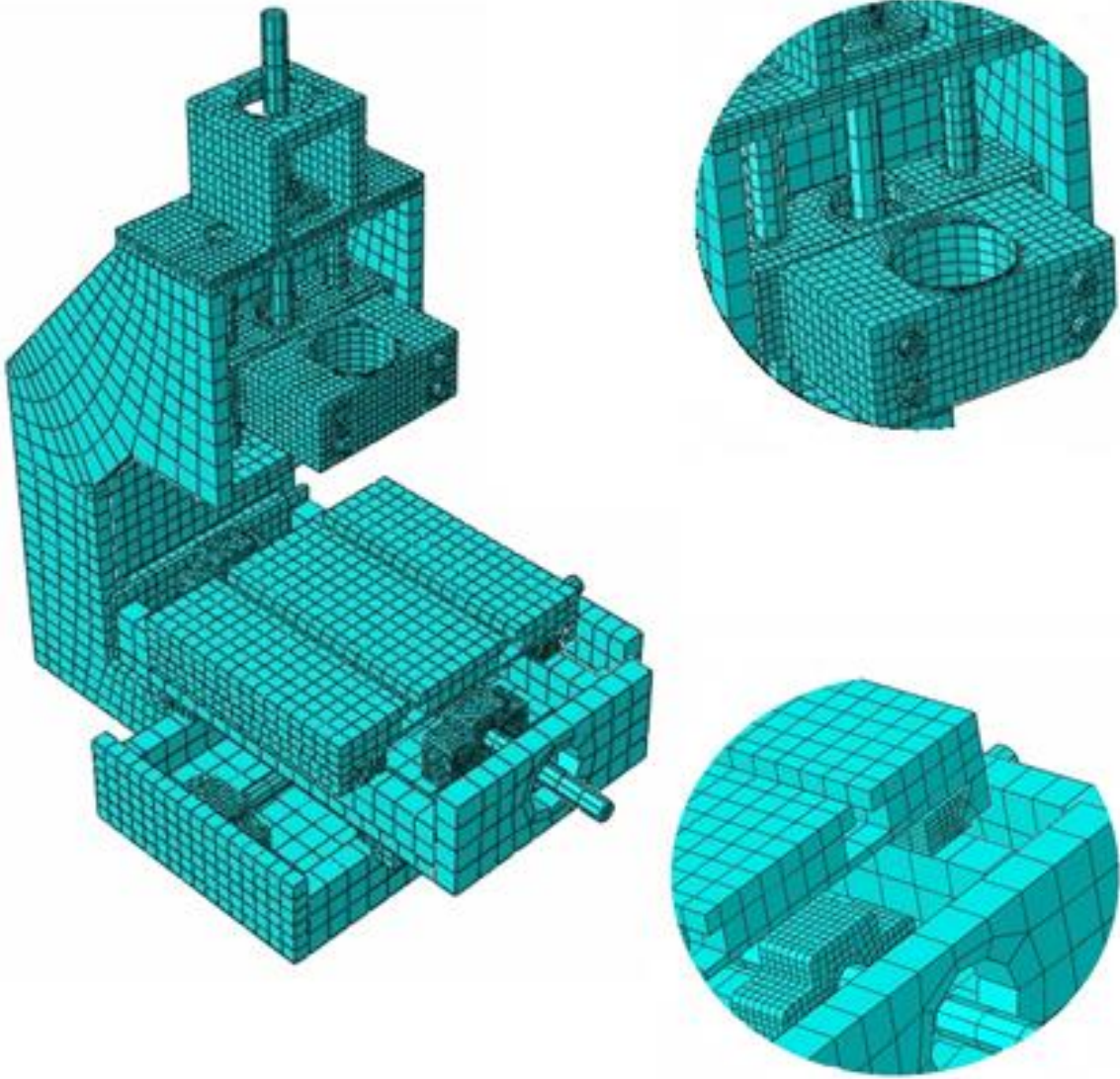
Bir yapıyı kapsamlı olarak anlamak ve nicelleştirmek (gerilme türü gibi) için matematiğin kullanılması gerekir. Bu işlemleri açıklamak için kısmi diferansiyel denklemler kullanılır. Bu denklemlerin çözülmesi için sayısal teknikler kullanılır. Bu yöntem günümüzde sonlu elemanlar yöntemidir.

Sonlu elemanlar yönetimi bir problemin yalnızca yaklaşık çözümünü ortaya koyar. Diferansiyel denklemlerin sonucunu elde etmek için kullanılan sayısal yaklaşımdır. Sonlu elemanlar yöntemi bir montajın belirli yükler ve koşullar altında nasıl davrandığını bulmak için kullanılan sayısal yöntemdir. Tasarımların zayıflıklarını bulmak için kullanılır.

Yapının simülasyonunu yapabilmek için yapının şeklinin oluşturmak gereklidir. Bunun için binlerce elementten oluşan ağ yapısı gerekir. Her bir eleman için hesaplamalar yapılarak yapının nihai sonucuna ulaşılır. Yaklaşımlar elemanlar üzerinde gerçekleştirilen enterpolasyonlardır. Elemanların sınırlarını düğüm noktaları oluşturur. Düğüm noktalarındaki değerler bilinerek yapının elemanlarındaki sonuçlar çıkartılır.

Elde edilecek sonuçların doğruluğu ağ yakınsaması ile orantılıdır. Elemanların boyutlarının büyüklüğünün tayininde ağ yakınsaması dikkate alınarak doğru sonuca varılmalıdır. Bu durum ağ optimizasyonu ile sağlanır.

Takım tezgahının geometrik modeli bir bilgisayar destekli çizim programında ve sonlu eleman modeli ABAQUS CAE sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulmuştur. Takım tezgahı gövdesini oluşturan tüm parçalar, süpürme tekniği ile birlikte hegzahedron dominant meshing metodu kullanılarak elemanlara bölünmüştür. Takım tezgahı sonlu eleman modeli 29.852 eleman ve 45.521 düğümden oluşmaktadır. Şekil 7.1 mikro freze takım tezgahının sonlu eleman modelini göstermektedir. Sonlu eleman analizinde C3D8R eleman tipi kullanılmıştır.



Şekil 7.1. Mikro Freze Takım Tezgahının Sonlu Elemanlar Ağı

Uygulanan dış kuvvetler nedeniyle oluşan reaksiyon kuvvetleri uygun bir kuvvet akış yolu ile makine yatağına iletilmelidir. Freze tezgahını oluşturan yapısal bileşenler arasında uygun bir temasın tanımlanması gerekir. Bu amaçla, parçalar arasındaki temas, tie temas koşulu kullanılarak tanımlanmıştır.

Yükleme ve sınır koşulları, pratik durumda mevcut olan gerçek koşullara göre sonlu elemanlar modeline uygulanmıştır. Sıkma torkuna bağlı kuvvetler civatalara etki etmektedir. 1000 N'luk bir ön gerilme kuvveti civata eksenine boyunca uygulanmıştır. Bu analizde, montajda mevcut vidaların sıkma torku nedeniyle kuvveti temsil eden toplam 4 ön gerilme kuvveti modellenmiştir. Standart yerçekimi tüm modele uygulanırken, kesme kuvvetlerini simüle etmek için Z yönünde iş mili ucuna kuvvet uygulanmıştır. Tablo 7.1. de takım tezgahının sonlu elemanlar analizinin yük durumlarını listelemektedir. Sonlu elemanlar modeline uygulanan

yükler, doğrusal olmayan temaslar nedeniyle ortaya çıkan yakınsama sorununu önlemek için üç adımda gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 7.1.** Yükleme Koşulları

No	Yük Türü	X	Z	Çözüm
1	Ön Gerilme	1000 N		Deformasyon ve Gerilme
2	Yer Çekimi		9,81m/s <sup>2</sup>	
3	Kuvvet	500 N		Deformasyon ve Gerilme

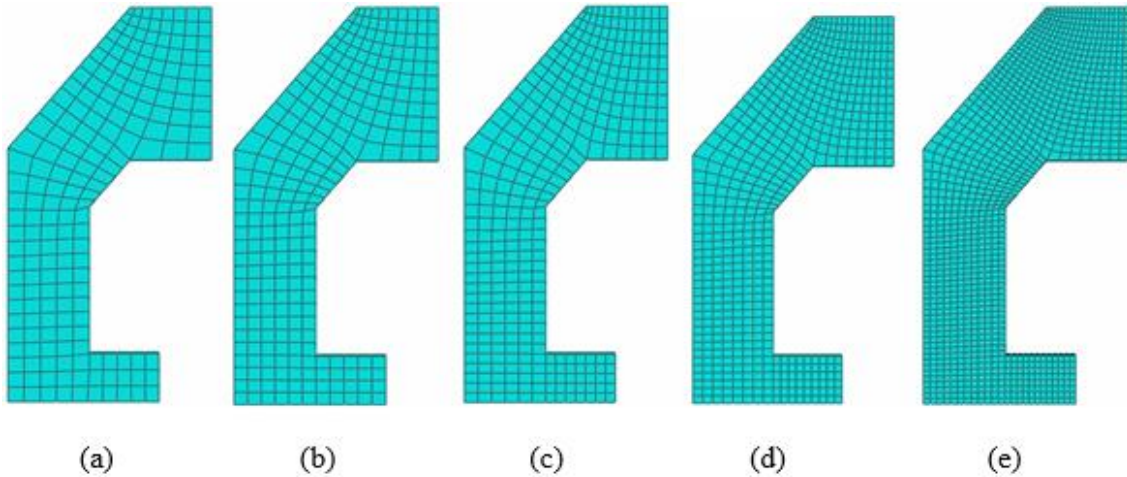
Yukarıda tanımlanan mekanik mikro freze tezgahının sonlu eleman modeli oluşturulduktan sonra statik yapısal analiz gerçekleştirilmiştir.

### 7.1. Yan Plakaların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi

Mikro freze takım tezgahının sonlu elemanlar analizi sonucunda, yan plakalarda meydana gelen gerilme ve deformasyon değerleri incelenmiştir.

#### 7.1.1. Sonlu Elemanlar Ağı Boyutunun Optimizasyonu

Ağ boyutu analiz sonuçlarının değişmesine neden olduğu için uygun eleman boyutunun bulunması gereklidir. Bu nedenle, yan plakaların eleman boyutu değiştirilerek uygun eleman boyutu bulunmuştur. Şekil 7.2 farklı eleman boyutları için mikro freze takım tezgahının yan plakalarına ait sonlu elemanlar ağını göstermektedir. Şekil 7.2 a, b, c, d ve e sırasıyla 13, 11, 9, 7 ve 5 mm eleman boyutuna karşılık gelmektedir.



**Şekil 7.2.** Yan Plakaların Eleman Boyutları: a. 13mm, b. 11mm, c. 9mm, d. 7mm, e. 5mm

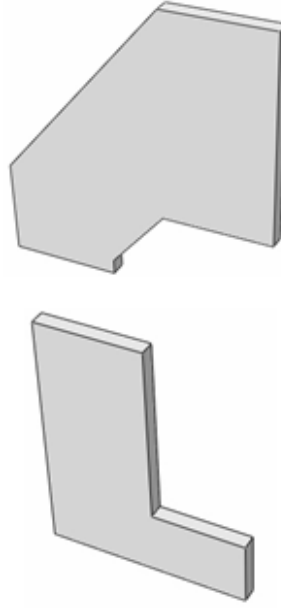
Tablo 7.2. de farklı eleman boyutları ile elde edilen analiz sonuçları verilmiştir. Görüldüğü üzere deformasyon değerleri ağ yapısı boyutuna önemli ölçüde bağlı değildir. Ancak gerilme değerleri incelendiğinde 5mm ağ boyutu ile gerilme değeri diğer ağ yapısı boyutlarından daha yüksek elde edilmiştir. Diğer ağ yapısı boyutları 7, 9, 11, 13mm kullanılarak elde edilen gerilme değerleri de birbirine çok yakındır. Analizlerin gerçekleştirilmesi için en düşük gerilme değerinin bulunduğu 11mm ağ boyutu kullanılabilir. Başka bir deyişle, analiz süreleri ve tabloda verilen sonuçlar doğrultusunda en uygun eleman boyutu 11mm olarak belirlenmiştir.

**Tablo 7.2.** Yan Plaka Ağ Boyutuna Göre Analiz Sonuçları

Eleman Boyutu (mm)	Deformasyon (mm)	Gerilme (MPa)	Analiz Süreleri (dk:s)
13	0,057	5,196	08:28
11	0,057	5,182	08:46
9	0,058	5,350	08:28
7	0,057	5,598	08:52
5	0,054	7,128	08:40

### 7.1.2. Parçalı Yan Plaka Analizi

Bu analizde, yan plakanın üst ve alt kısımları arasına Şekil 7.3.'de görüldüğü gibi, bir bölme çizgisi eklenmiştir. Tablo 7.3. üst ve alt plakadaki deformasyon değerlerini göstermektedir.



Şekil 7.3. İki Parçalı Yan Plaka

Tablo 7.3. den görülebileceği gibi, alt plaka üst plakaya göre daha rijit bir davranış sergilemiştir.

Tablo 7.3. Üç Yöndeki Deformasyon Miktarları

	Deformasyon (x) (mm)	Deformasyon (y) (mm)	Deformasyon (z) (mm)
Üst Plaka	0,04706	0,01023	0,03322
Alt Plaka	0,006278	0,004921	0,002299

Şekil 7.4. ve 7.5’de görüldüğü gibi, yapılan analiz sayesinde yan plakada oluşan maksimum deformasyon ve von mises gerilme miktarı ve yeri tespit edilmiştir.

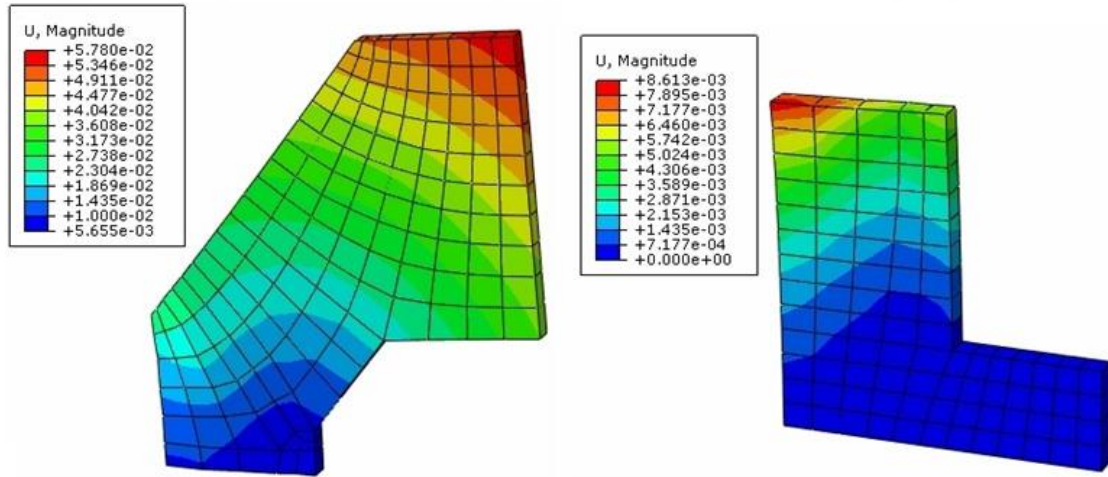
Tablo 7.4. deformasyon ve gerilme değerlerini göstermektedir. Tablodan, analizlerin yan planın üst kısmı ile devam edilebileceği ve alt kısmı için rijit kabulü yapılabileceği sonucu çıkarılabilir. Bu sonuç, alt plakaya sınır koşullarının uygulanması ve yan plaka ve alt plaka arasına tie sınır koşulu tanımlanmasına bağlanabilir.

Analiz sayesinde gerilmelerin üst plakada hangi noktalarda oluştuğu ve bazı noktalarda da ihmal edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden, gerilme yığılmalarının azaltılması için parçada iyileştirme işlemleri yapılması gerektiği görülmüştür.

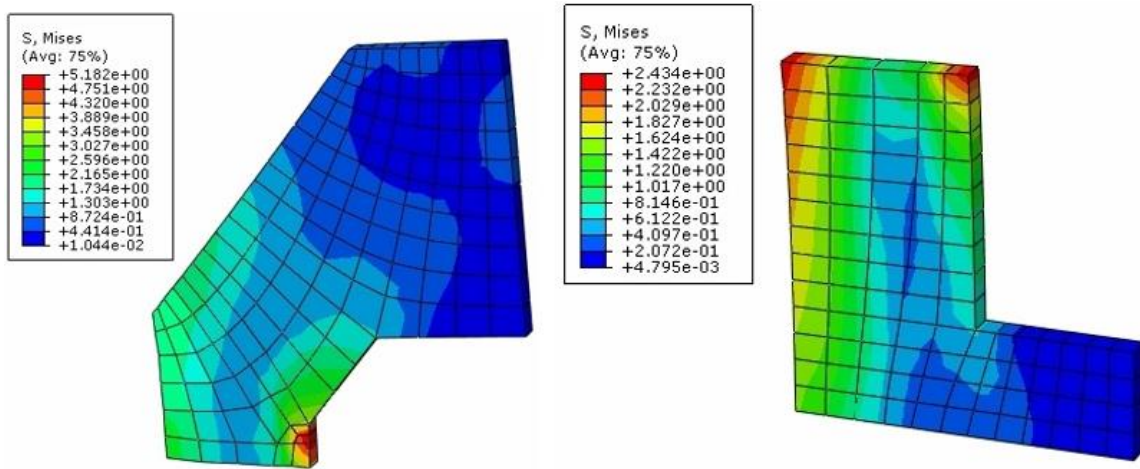
Yüklerin yan plakalar ve diğer elemanlar tarafından paylaşılması için analize bazı düzeltme faktörlerinin dahil edilmesi gerekir. Bu düzeltme faktörleri için iki parçaya ayrılan yan plakanın üst levhasında oluşan gerilmenin düşük olduğu yerleri tespit etmek ve gerilme yığılmalarını azaltmak için pah kırma ve kavis verme işlemleri uygulanmıştır.

**Tablo 7.4.** Maksimum Deformasyon ve Gerilme Miktarları

	Deformasyon(mm)	Gerilme (MPa)
Üst Plaka	0,05780	5,182
Alt Plaka	0,008613	2,434



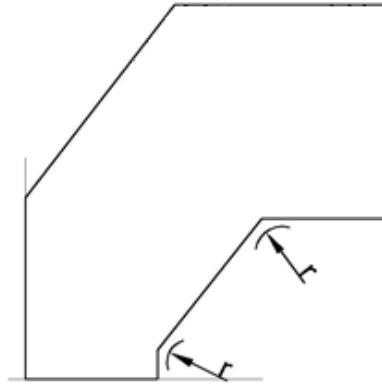
**Şekil 7.4.** İki Parçalı Plakanın Deformasyon Değerleri (Eleman Boyutu: 1 mm)



**Şekil 7.5.** İki Parçalı Plakanın Gerilme Değerleri (Eleman Boyutu: 1 mm)

### 7.1.3. Kavis Yarıçapı Etkisi

Kavislerin köşelerdeki gerilme seviyelerini azalttığı iyi bilinen bir gerçektir. Şekil 7.6.'da belirtildiği gibi, yan plakada boğazın hem alt hem de üst kısımlarında 45 derecelik keskin köşeler vardır. Bu keskin dönüşler gerilme konsantrasyonuna yol açar. Yapılacak bir kavis gerilme konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltacaktır, ancak imalat sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle, yan plaka uygun bir kavis yapı çapı ölçüsüne karar vermek için, Tablo 7.5'de belirtilen farklı kavis yarıçapı değerlerine göre analiz edilmiştir.



Şekil 7.6. Kavis Yerleri

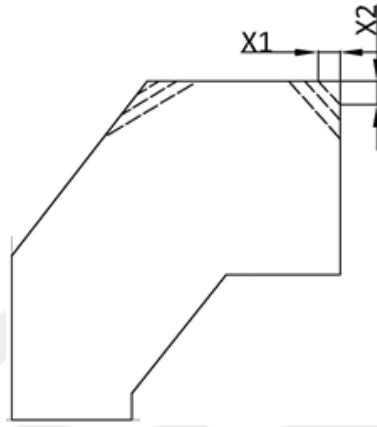
Farklı kavis yarıçapı değerlerinde elde edilen maksimum deformasyon ve gerilme değerleri Tablo 7.5'de verilmiştir. Kavis verilmesiyle yan plakanın deformasyonunda çok az değişiklik meydana gelmiştir. Başka bir deyişle, deformasyon miktarları kavis yarıçapının değişmesiyle ihmal edilebilir düzeyde değişmektedir. Gerilme değerleri dikkate alındığında en uygun kavis yarıçapı boyutu 10 mm olarak tayin edilmiştir.

Tablo 7.5. Farklı Kavis Yarıçapları İçin Maksimum Deformasyon Ve Gerilme Değerleri

Kavis yarıçapı (mm)	Deformasyon (mm)	Gerilme(MPa)
5	0,0569	5,254
10	0,0566	5,260
15	0,0567	5,436
20	0,0564	5,328

#### 7.1.4. Pah Kırma Etkisi

Düzlemsel gerinim koşulları altındaki cisimlerin serbest kenarlarının dayanıma çok az katkıda bulunduğu iyi bilinmektedir. Takım tezgahı plakalarının sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçlarından da, yan plakaların serbest kenarlarında gerilme oluşmadığı doğrulanmıştır. Serbest kenarlar cisimlerin dayanımına çok az katkıda bulunur. Böylece, serbest kenarlar kesilebilir veya pah kırılabilir. Şekil 7.7.'de detaylandırıldığı gibi, yan plakaların üst kısmına farklı ölçülerde pah kırılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.7. Pah Kırma Yerleri

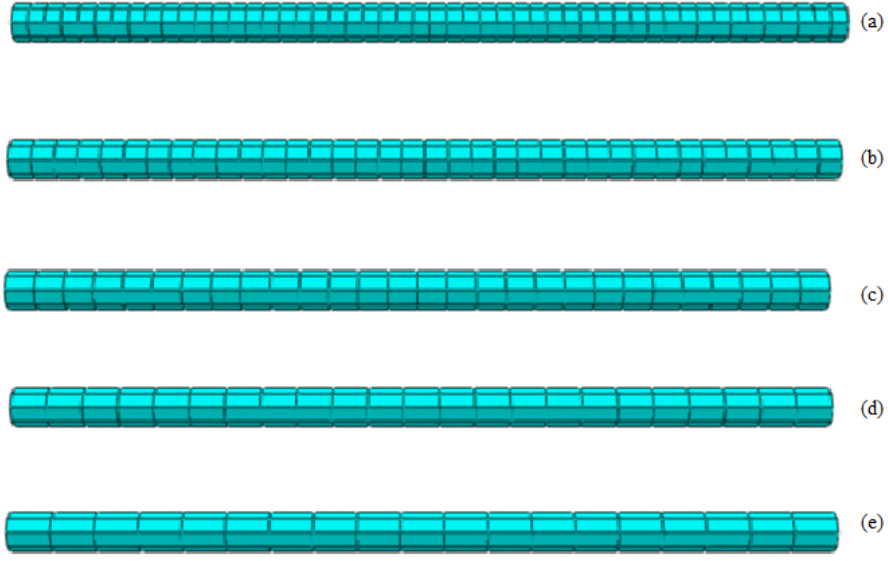
Tablo 7.6.'da görüldüğü gibi, parçadaki pah kırma ile deformasyon değerlerinde önemli miktarda değişiklik olmamıştır. Ağırlığı ve maliyeti azaltmak için kenarlara pah kırılabilir. Yan plakaların serbest kenarlarına pah kırmanın takım tezgahının mukavemetini ve rijitliğini önemli ölçüde etkilemediği sonucu çıkarılabilir (Srinivasa ve Shunmugam, 2014).

Tablo 7.6. Farklı Pah Ölçüleri İçin Maksimum Deformasyon Ve Gerilme Değerleri

Pah Boyutu, X1×X2 (mm)	Deformasyon (mm)	Gerilme (MPa)
5x5	0,0571	5,179
10x10	0,0564	5,071
15x15	0,0557	5,060

#### 7.2. Z Ekseni Vidalı Mil Analizi

Mikro freze takım tezgahının sonlu elemanlar analizi sonucunda, Z ekseni vidalı milde meydana gelen gerilme ve deformasyon değerleri incelenmiştir.

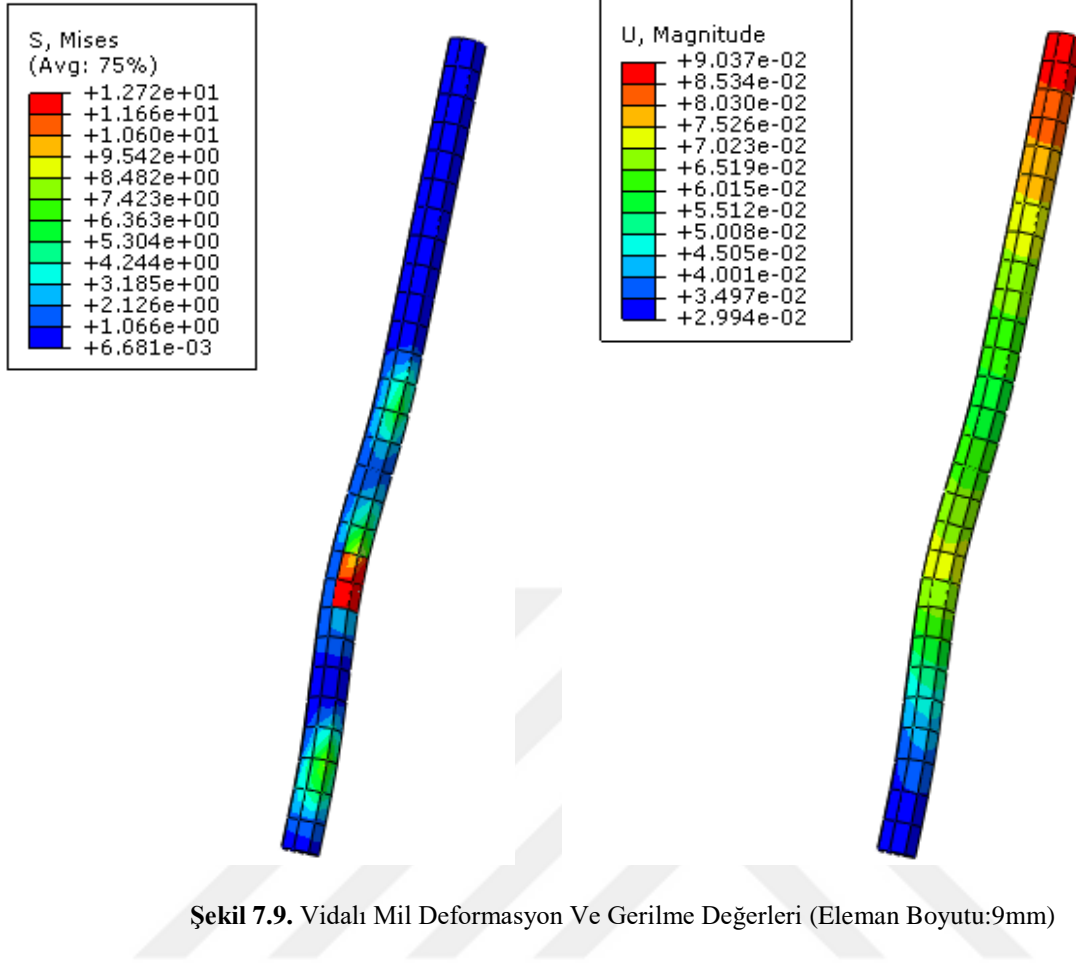


**Şekil 7.8.** Z Eksenli Vidalı Mil Eleman Boyutları: a. 5mm, b. 7mm, c. 9mm, d. 11mm, e. 13mm

Tablo 7.7.'de farklı eleman boyutları ile elde edilen analiz sonuçları verilmiştir. Görüldüğü üzere deformasyon değerleri ağ yapısı boyutuna önemli ölçüde bağlı değildir. Ancak gerilme değerleri incelendiğinde 5mm ağ boyutu ile gerilme değeri diğer ağ yapısı boyutlarından daha yüksek elde edilmiştir. Diğer ağ yapısı boyutları 7, 9, 11, 13mm kullanılarak elde edilen gerilme değerleri de birbirine çok yakındır. Analizlerin gerçekleştirilmesi için en düşük gerilme değerinin bulunduğu 9mm ağ boyutu kullanılır.

**Tablo 7.7.** Z Eksenli Vidalı Mil Ağ Boyutuna Göre Analiz Sonuçları

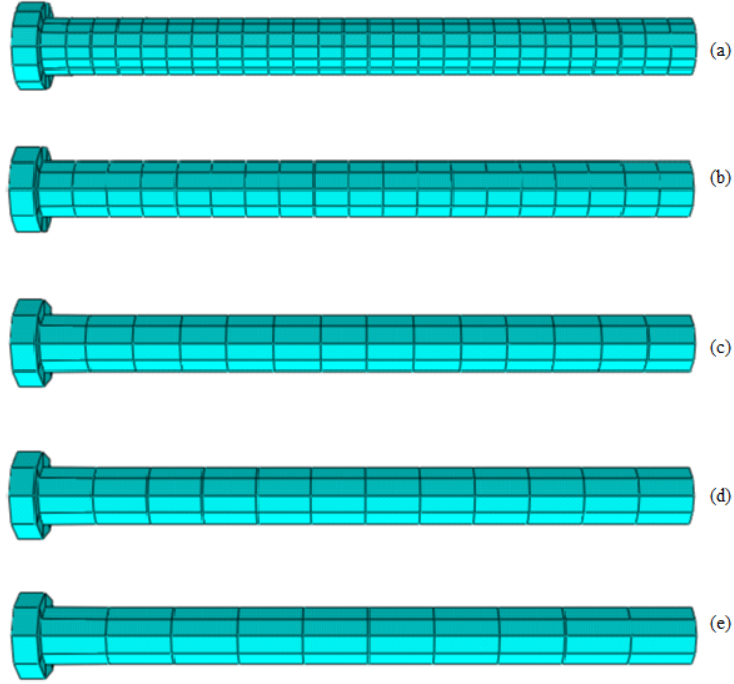
Eleman Boyutu (mm)	Deformasyon (mm)	Gerilme (MPa)
5	0,00894	13,81
7	0,00906	13,27
9	0,00903	12,72
11	0,00910	13,02
13	0,00925	12,89



Tanımlanan sınır koşulları ve uygulanan kuvvet sonucunda z eksenli vidalı mildeki oluşacak deformasyon miktarları ve gerilme değerleri mikro işleme için uygun olduğu görülmüştür (Srinivasa ve Shunmugam, 2014).

### 7.3. Z Eksenli Destek Milleri Analizi

Mikro freze takım tezgahının sonlu elemanlar analizi sonucunda, Z eksenli destek millerinde meydana gelen gerilme ve deformasyon değerleri incelenmiştir.

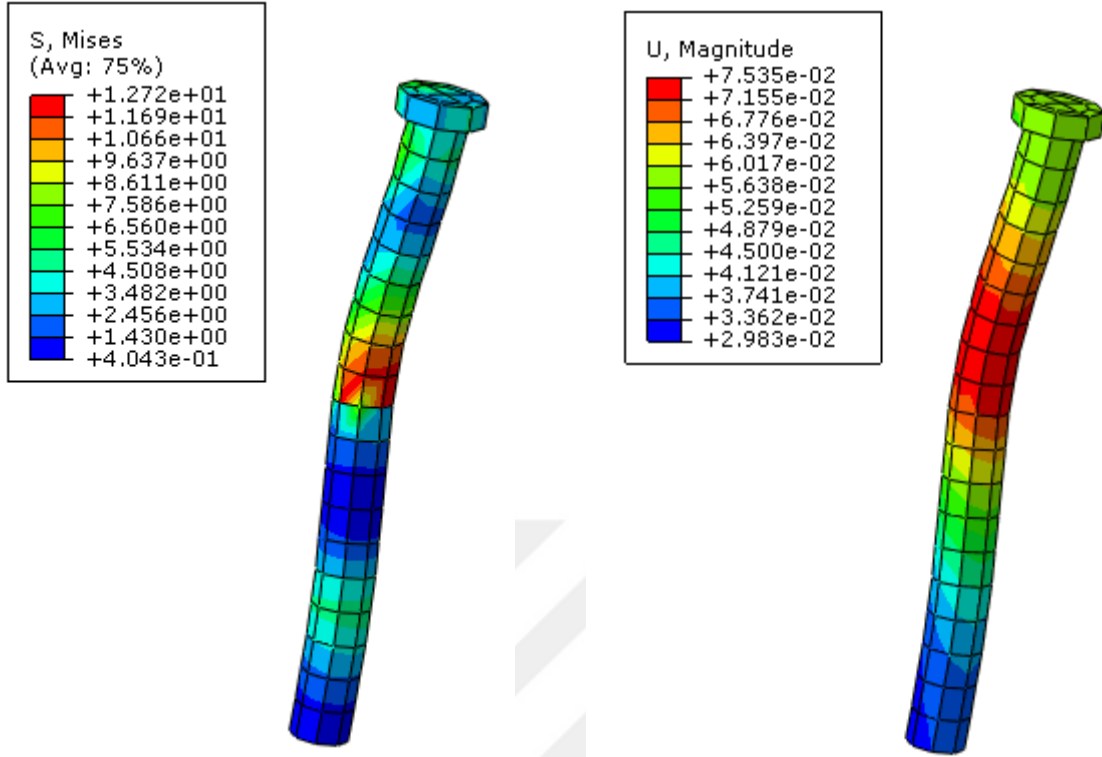


**Şekil 7.10.** Z Ekseni Destek Milleri Eleman Boyutları: a. 5mm, b. 7mm, c. 9mm, d. 11mm, e. 13mm

Tablo 7.8.'de farklı eleman boyutları ile elde edilen analiz sonuçları verilmiştir. Görüldüğü üzere deformasyon değerleri ağ yapısı boyutuna önemli ölçüde bağlı değildir. Ancak gerilme değerleri incelendiğinde 5mm ağ boyutu ile gerilme değeri diğer ağ yapısı boyutlarından daha yüksek elde edilmiştir. Diğer ağ yapısı boyutları 7, 9, 11, 13mm kullanılarak elde edilen gerilme değerlerinde ağ boyutundaki oran ile aynı oranda azaldığı ve arttığı gözlenmektedir. Gerilme değerlerinde meydana gelen bu değişimler göz önüne alınarak ağ boyutu 7mm seçilerek analizler gerçekleştirilir.

**Tablo 7.8.** Z Ekseni Destek Milleri Ağ Boyutuna Göre Analiz Sonuçları

Eleman Boyutu (mm)	Deformasyon (mm)	Gerilme(MPa)
5	0,00749	12,98
7	0,00753	12,72
9	0,00741	10,94
11	0,00725	9,95
13	0,00723	9,14

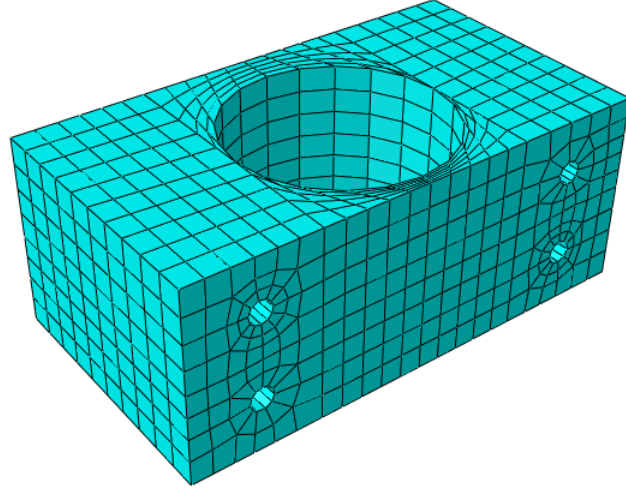


Şekil 7.11. Destek Mili Deformasyon ve Gerilme Değerleri (Eleman Boyutu:7mm)

Tanımlanan sınır koşulları ve uygulanan kuvvet sonucunda z eksenli vidalı mildeki oluşacak deformasyon miktarları ve gerilme değerleri mikro işleme için uygun olduğu görülmüştür(Srinivasa ve Shunmugam, 2014). Deformasyon miktarları ve gerilme değerlerindeki düşüklük göz önüne alınarak yapıda destek millerinin çıkartılabileceği ve buna bağlı olarak vidalı mil yatağında tasarım değişikliğine gidilerek tasarımda optimizasyon yapılabilir.

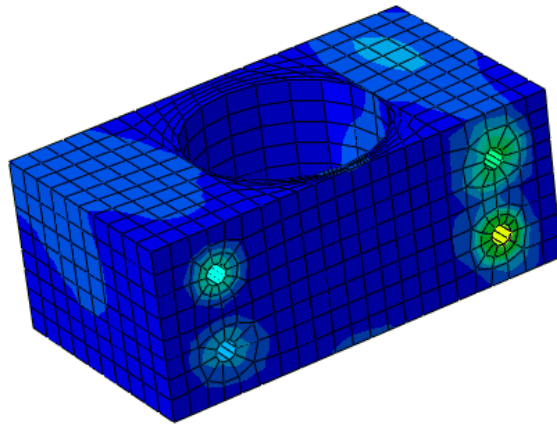
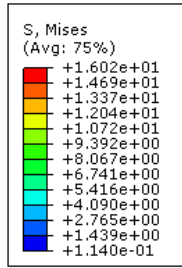
#### 7.4. İş Mili Yatağı Analizi

Mikro freze takım tezgahının sonlu elemanlar analizi sonucunda, İş mili yatağında meydana gelen gerilme ve deformasyon değerleri incelenmiştir. İş milinde meydana gelen kuvvetler sonucunda asıl deformasyonun ve gerilmelerin iş mili yatağında nasıl sonuçlandığını gözlemlemek amacıyla iş mili yatağında analizler gerçekleştirilmiştir.

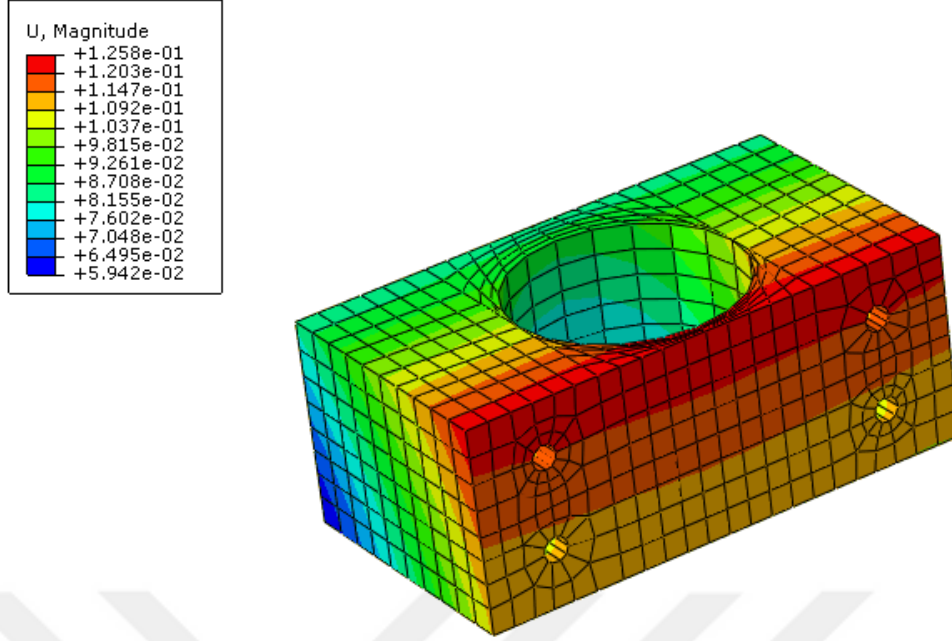


Şekil 7.12. İş Mili Yatağı Ağ Yapısı (Eleman Boyutu: 5mm)

Şekil 7.13 de görüldüğü gibi gerilmelerin cıvata deliklerinde olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bölgeler emniyetli kabul edilebilir. Oluşan gerilme sonucunda iş mili yatağı cıvata deliklerinde herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Sonuç olarak deformasyon değerlerinin düşük olduğu gerilmesiz alanlarda malzeme azaltma çalışmaları yapılarak iş mili yatağı malzeme maliyetleri azaltılabilir.



Şekil 7.13. İş Mili Yatağı Gerilme Değerleri



**Şekil 7.14.** İş Mili Yatağı Deformasyon Değerleri

Tablo 7.9.'da deformasyon ve gerilme değerlerinin sonuçları verilmiştir. Görüldüğü üzere diğer yapılan analizlerle (yan plaka, vidalı mil, destek milleri) kıyasla deformasyon değeri daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuca kuvvetin merkezden etki ettiği ve takım tezgahının ağırlık merkezine göre moment üreteceğinden dolayı deformasyon değerlerinin de bu yönde artacağı sonucuna varılabilir. Optimum işleme koşulları belirlenerek oluşan deformasyonlar en aza indirgenebilir.

**Tablo 7.9.** İş Mili Yatağı Analiz Değerleri

Eleman Boyutu (mm)	Deformasyon (mm)	Gerilme (MPa)
5	0,1258	16,02

## 8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, mikro frezeleme işlemleri için tasarlanmış bir takım tezgahı, statik yükleme koşulları altında sonlu elemanlar yöntemine dayanarak analiz edilmiş ve yan plaka, vidalı mil, destek milleri, iş mili yatağında oluşan gerilme ve deformasyonlar incelenerek aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

1) Yan plaka üzerinde ağ boyutunun etkisi, parçalı plaka, farklı kavis yarıçapları ve pah ölçüleri parametreleri esas alınarak incelenerek optimize edilmiştir. Uygulanan kuvvet ve sınır koşullarında takım tezgahının yan plakalarında oluşan deformasyon ve gerilme değerleri esas alınarak yan plaka tasarımları optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda yaklaşık 5 MPa gerilme değerleri ve 0,05mm deformasyon değerleri bulunmuştur. Parçalı yan plaka analizlerinden elde edilen sonuçlarda ise alt kısımda yaklaşık 2 MPa gerilme değeri ve 0,008mm deformasyon değerleri tespit edilerek rijit davranış gösteren bu parça analizlere dahil edilmeyerek yüksek gerilmelerin görüldüğü kısımlar üzerinde çalışma yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Kavis uygulaması ile keskin köşelerde gerilme yığılmalarının dağıtılabileceği ortaya koyulmuştur.

2) Vidalı miller üzerindeki gerilme ve deformasyon değerleri yaklaşık 12 MPa ve deformasyon değerleri 0,009mm olarak tespit edilmiştir. Bu değerler parça kuvvetin doğrudan etki etmesi sebebiyle oldukça düşük değerlerde olduğu görülmüştür.

3) Destek milleri ile tasarlanan takım tezgahında destek millerinin önemli derece yüke maruz kalmadığı ve vidalı mil tarafından işleme sırasında oluşan gerilmelerin taşınılabileceği sonucu çıkarılabilir. Destek millerinde yaklaşık 11 MPa gerilme ve 0,007mm deformasyon değerleri elde edilmiştir.

4) İş mili yatağında düşük gerilme değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler yaklaşık 16MPa gerilme ve 0,12mm deformasyon değerleridir. Yapılabilecek yeni bir tasarımda iş mili yatağının boyutları yeniden gözden geçirilebilir. Optimum mikro frezeleme işleme koşulları altında iş mili yatağında oluşan deformasyonlar minimum düzeye getirilebilir.

## KAYNAKÇA

- Adair, K., Kapoor, S. G., & DeVor, R. E.** (2011). Development of a unique topology for a hard-turning micro-scale machine tool. *Journal of manufacturing processes*, 13(2), 75-84.
- Altintas, Y., & Ber, A. A.** (2001). Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design. *Appl. Mech. Rev.*, 54(5), B84-B84.
- Andolfatto, L., Lavernhe, S., & Mayer, J. R. R.** (2011). Evaluation of servo, geometric and dynamic error sources on five-axis high-speed machine tool. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51(10-11), 787-796.
- Aydin, M., & Kisioglu, Y.** (2013). Hydraulic press design under different loading conditions using finite element analysis. *Engineering Science & Technology, an International Journal*, 16(3).
- Baker, J. R., & Rouch, K. E.** (2002). Use of finite element structural models in analyzing machine tool chatter. *Finite Elements in Analysis and Design*, 38(11), 1029-1046.
- Bang, Y. B., Lee, K. M., & Oh, S.** (2005). 5-axis micro milling machine for machining micro parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(9-10), 888-894.
- Bianchi, G., Paolucci, F., Van den Braembussche, P., Van Brussel, H., & Jovane, F.** (1996). Towards virtual engineering in machine tool design. *CIRP annals*, 45(1), 381-384.
- Bozkurt, T.** (2019). *Üç eksenli CNC takım tezgahı tasarımı ve imalatı.* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Chan, N., Oo, T. Z., & San Hlaing, A. M.** (2019). Design and Structural Analysis of 3 Axis CNC Milling Machine Table.
- Chen, T. C., Chen, Y. J., Hung, M. H., & Hung, J. P.** (2016). Design analysis of machine tool structure with artificial granite material. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(7), 1687814016656533.
- Cho, S-K., Kim, H-J. and Chang, S-H.** (2011). The application of polymer composites to the table-top machine tool components for higher stiffness and reduced weight. *Composite Structures*, Vol. 93, No. 2, pp.492–501.

- Cox, D.J., Newby, G., Park, H.W., Liang, S.Y., Liu, W.L., Hsieh, S.B. and Hwang, J.** (2006) 'Precision machining with micro-scale vertical machining center', *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 10, No. 2, pp.187–195.
- de Lacalle, N. L., & Mentxaka, A. L. (Eds.).** (2008). *Machine tools for high performance machining*. Springer Science & Business Media.
- Dündar, M., FIÇICI, F., & Fatih, ÖZEN.** (2016). Mikro Frezeleme Tezgahının Tasarımı ve Kısımları. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(3).
- Ehmann, K. F., DeVor, R. E., & Kapoor, S. G.** (2002). PL-2 Micro/Meso-scale Mechanical Manufacturing: Opportunities and Challenges. In *The Proceedings of the JSME Materials and Processing Conference (M&P) 10.1* (pp. 6-13). The Japan Society of Mechanical Engineers.
- Huang, D. T. Y., & Lee, J. J.** (2001). On obtaining machine tool stiffness by CAE techniques. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41(8), 1149-1163.
- Huo, D., Cheng, K., & Wardle, F.** (2010). Design of a five-axis ultra-precision micro-milling machine—UltraMill. Part 1: holistic design approach, design considerations and specifications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(9-12), 867-877.
- Jackson, M.J., Hyde, L.J., Robinson, G.M. and Ahmed, W.** (2009). Comparative dynamic response of mesomachine tool structure. *International Journal of Computational Materials Science and Surface Engineering*, Vol. 2, Nos. 1–2, pp.18–40.
- Jun, M. B., Goo, C., Malekian, M., & Park, S.** (2012). A new mechanistic approach for micro end milling force modeling. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 134(1).
- Koren, Y.** (1983). *Computer control of manufacturing systems* (pp. 134-141). New York: McGraw-Hill.
- Kussul, E., Baidyk, T., Ruiz-Huerta, L., Caballero-Ruiz, A., Velasco, G., & Kasatkina, L.** (2002). Development of micromachine tool prototypes for microfactories. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 12(6), 795.
- Lee, J.H., Park, S.R. and Yang, S.H.** (2006a) 'Machining of micro/meso scale structures using a miniaturized machine tool by using a conventional cutting process', *Transactions of the ASME – of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 128, No. 3, pp.820–825.

- Lee, S.W., Mayor, R. and Ni, J.** (2006b). Dynamic analysis of a mesoscale machine tool, *Transactions of the ASME – Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 128, No. 1, pp.194–203.
- Li, C., Lai, X., Li, H., & Ni, J.** (2007). Modeling of three-dimensional cutting forces in micro-end-milling. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 17(4), 671.
- Li, H., Lai, X., Li, C., Lin, Z., Miao, J., & Ni, J.** (2008). Development of meso-scale milling machine tool and its performance analysis. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 3(1), 59-65.
- Lianqing, Y. and Liping, W.** (2009). Stiffness analysis of machine tools using finite element method. *IEEE Third International Symposium on Intelligent Information Technology Applications*, NanChang, China, pp.553–556.
- Majda, P.** (2012). Modeling of geometric errors of linear guideway and their influence on joint kinematic error in machine tools. *Precision Engineering*, 36(3), 369-378.
- Mamedov, A., & Lazoğlu, İ.** (2012). Mikro Frezeleme için Mekanistik kuvvet Modeli. 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 175-183.
- Mayr, J., Jedrzejewski, J., Uhlmann, E., Donmez, M. A., Knapp, W., Härtig, F., & Brecher, C.** (2012). Thermal issues in machine tools. *CIRP annals*, 61(2), 771-791.
- Mian, N. S., Fletcher, S., Longstaff, A. P., & Myers, A.** (2013). Efficient estimation by FEA of machine tool distortion due to environmental temperature perturbations. *Precision engineering*, 37(2), 372-379.
- Phillip, A. G., Kapoor, S. G., & DeVor, R. E.** (2006). A new acceleration-based methodology for micro/meso-scale machine tool performance evaluation. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(12-13), 1435-1444.
- Quin, W.** (2013) Design And Analysis Of A Small-Scale Cost-Effective CNC Milling Machine, the degree of Master, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
- Robinson, G. M., & Jackson, M. J.** (2005). A review of micro and nanomachining from a materials perspective. *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2-3), 316-337.

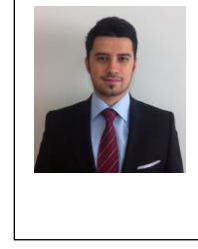
- Shneor, Y., & Portman, V. T.** (2010). Stiffness of 5-axis machines with serial, parallel, and hybrid kinematics: Evaluation and comparison. *CIRP annals*, 59(1), 409-412.
- Sinha, S. P., & Murarka, P. D.** (1988). Computer-aided design of hydraulic press structures. *Mathematical and Computer Modelling*, 10(9), 637-645.
- Slocum, A. H.** (1992). Precision machine design: macromachine design philosophy and its applicability to the design of micromachines. In [1992] *Proceedings IEEE Micro Electro Mechanical Systems* (pp. 37-42). IEEE.
- Srinivasa, Y. V., & Shunmugam, M. S.** (2014). Analysis of structural integrity of special purpose miniaturised machine tool and performance evaluation for micro machining applications. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 6(4), 366-382.
- Wang, Z. G., Cheng, X., Nakamoto, K., Kobayashi, S., & Yamazaki, K.** (2010). Design and development of a precision machine tool using counter motion mechanisms. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(4), 357-365.
- Zhang, G. P., Huang, Y. M., Shi, W. H., & Fu, W. P.** (2003). Predicting dynamic behaviours of a whole machine tool structure based on computer-aided engineering. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(7), 699-706.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Türker Yetkin ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 1993



### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : **Karadeniz Teknik Üniversitesi – Trabzon**

Mühendislik Fakültesi – Makine Mühendisliği(2.91/4) 2011-2015

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

#### Çalıştığı Kurumlar :

**08.2013 – 09.2013 Hisarlar Makine San. ve Tic. A.Ş.**

#### **İmalat Stajyer Mühendisi**

Talaşlı imalat ve takım tezgahları alanlarında çalışmalar yapmak.

**06.2014 – 07.2014 Alp Aviation A.Ş.**

#### **Ar-Ge Stajyer Mühendisi**

Mühendislik uygulamaları alanında çalışmalar yapmak.

**08.2014 – 09.2014 Eti Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.**

#### **İşletme Stajyer Mühendisi**

Fabrika işletmesi ve satış destek organizasyonu alanlarında çalışmalar yapmak.

**02.2016 – Halen Kolin İnş. Turz. San Tic. A.Ş.-Eskişehir Doğalgaz Dağıtım A.Ş.**

#### **Proje Mühendisi**

## **Akademik Çalışmalar ve Projeler :**

- 1. Enerji-Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme**  
4 katlı bir evin ısıtma tesisatı projesi
- 2. Mekanik-Tasarım Projesi**  
Mekanik-hidrolik kasis tasarımı
- 3. İmalat-Bitirme Tezi**  
Kavrama imalatı ve özellikleri
- 4. Konstrüksiyon**  
İç rulman çektirme projesi ve tek kademeli ve lamelli kavramalı dişli kutusu tasarımı

**Özdemir, T.Y., Aydın, M.** (2020). Mikro talaşlı imalat işlemleri için CNC freze tezgahının statik yapısal analizi. *International Marmara Sciences Congress (Spring) Proceedings Book3*, s. 369-377.

## **İletişim**

E-Posta Adresi : [turker.yetkin@gmail.com](mailto:turker.yetkin@gmail.com)

ORCID NO : 0000-0002-4435-907X