

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞIR SERİ CNC PROFİL İŞLEME MAKİNESİ TASARIMI

HASAN ARPALI

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞIR SERİ CNC PROFİL İŞLEME MAKİNESİ TASARIMI

HASAN ARPALI

Prof. Dr. Taner YILMAZ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ali DURMUŞ
Jüri Üyesi, Uludağ Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Sinan YILMAZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.02.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
 - Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
 - Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
 - Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesinin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsünün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,
- beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Hasan ARPALI

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesine verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projemin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

Hasan ARPALI

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez, ağır seri profillerin montajının kolay ve doğru yapılabilmesi için CNC programlama ile üzerine doğru konumlarda delik delme, dış çekme, markalama vb. işlemleri yapabilen çok eksenli makinenin mekanik tasarımını ve yapısal parçaların analizlerini içermektedir. Makine tasarımında doğru ürün seçiminde yardımcı olmaktadır.

Tez çalışmam için bana destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Taner Yılmaz'a, tez çalışmalarım boyunca ihtiyaç duyduğum Solidworks yazılımını sağlayan Tfon makineye teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım ve tez çalışmalarım boyunca beni destekleyen, bana güvenen eşim Eda Arpalı'ya, aileme ve dostlarıma minnetlerimi sunarım.

Şubat-2024

Hasan ARPALI

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1.CNC Makinelerle İlgili Yapılan Çalışmalar	2
2.2.Üretim Yapan Benzer Firmalar	5
2.2.1.Akyapak.....	6
2.2.2.Ficep	7
2.2.3.Peddinghouse.....	8
2.2.4.Vernet	9
2.2.5.Ritec.....	9
2.2.6.Voortman	10
2.3.Ağır Seri Profiller	11
2.4.Yorulma	12
2.4.1. Yorulma Davranışının Temel Kavramları	13
2.4.2. S-N Eğrisi (Wöhler Eğrisi)	14
3.AĞIR SERİ PROFİL İŞLEME MAKİNESİ	17
3.1.Profil İşleme Makinesi Bölümleri	17
3.1.1. İşleme Merkezi	17
3.2. İşleme Merkezinde Kullanılan Hazır Alınmış Malzemeler	19
3.2.1.Linear Kızak Araba Sistemleri	19
3.2.2.Vidalı Mil ve Somun	21
3.2.3.Servo Motorlar ve Sürücüler	23
3.2.4. Encoderler.....	24
3.2.5. Servo Redüktörler.....	25
3.2.6. Boşluksuz Servo Kaplinler	25
3.2.7.Spindle	26
3.2.8. Takım Tutucular	26
3.2.9 Kontrol Ünitesi	27
4.HESAPLAMALAR.....	28
4.1.Spindle Seçimi ve Hesabı	28
4.1.1. Malzeme ve İş Parçası Bilgisi	28
4.1.2. Kesici Takım Seçimi	28
4.1.3. Tork Hesaplaması	28
4.1.4. Kesme Kuvveti	29
4.1.5. Kesme Hızı ve İlerleme	32
4.1.6. Talaş Boyutları	32
4.1.7. Kesme kuvvetleri.....	32
4.1.8. Spindle Gücü Hesabı	33

4.2.Hidrolik Mengene Hesabı.....	34
4.3.Z Ekseni	36
4.3.1. Vidalı Mil Seçimi	37
4.3.2. Motor Seçimi	37
4.3.3. Lineer Araba Seçimi.....	38
4.4. Y Ekseni.....	40
4.4.1. Vidalı Mil Seçimi	40
4.4.2. Motor Seçimi	41
4.4.3. Lineer Araba Seçimi.....	42
4.5. X Ekseni.....	43
4.5.1. Kremayer Seçimi	44
4.5.2. Motor Seçimi	44
4.5.3. Lineer Araba Seçimi.....	45
5.ANALİZLER.....	47
5.1.Mesh Tipleri.....	47
5.1.1.Standart Mesh.....	47
5.1.2.Eğrilik Tabanlı Mesh.....	47
5.1.3.Karışık Eğrilik Tabanlı Mesh	47
5.1.4.Maksimum Eleman Boyutu	48
5.1.5.Minimum Eleman Boyutu	48
5.2.Von Mises Gerilmesi	49
5.3. 1.İstasyon Statik Analizi.....	50
5.4. 1. İstasyon Frekans Analizi.....	53
5.5. 2. İstasyon Statik Analizi.....	54
5.6. 2.İstasyon Frekans Analizi.....	57
5.7. Gövde Statik Analiz.....	58
5.8. Gövde Frekans Analizi	61
6.GEOMETRİK BOYUTLAR.....	63
7.SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR.....	72
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	75
ÖZ GEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Tasarımı yapılan makinenin izometrik görünüşü.....	2
Şekil 2.2.	Akyapak firmasına ait makine	6
Şekil 2.3.	Ficep firmasına ait makine	7
Şekil 2.4.	Peddinghouse firmasına ait makine	8
Şekil 2.5.	Vernet firmasına ait makine	9
Şekil 2.6.	Ritec firmasına ait makine.....	10
Şekil 2.7.	Voortman firmasına ait makine.....	11
Şekil 2.8.	Örnek ağır seri yapısal profiller.....	12
Şekil 2.9.	Krank milinin yorulma nedeniyle kopması	13
Şekil 2.10.	Çeltikli bir bölgenin gerilme altındaki davranışı.....	14
Şekil 2.11.	Çelik malzemelerde S-N Diyagramı örneği	15
Şekil 2.12.	Çelik malzemelerde S-N Diyagramı	15
Şekil 3.1.	Eksenlerin şematik gösterimi	18
Şekil 3.2.	Tasarımı yapılan makinenin izometrik görünüşü.....	18
Şekil 3.3.	Örnek işlem yapılan profil.....	19
Şekil 3.4.	Örnek lineer kızak ve araba.....	20
Şekil 3.5.	Lineer kızakların uzunluk hassasiyet grafiği.....	20
Şekil 3.6.	Lineer araba siparişi kodlandırılması	21
Şekil 3.7.	Örnek vidalı mil ve somun	22
Şekil 3.8.	Vidalı mil uzunluğa göre hız ve yük grafiği	23
Şekil 3.9.	Örnek servo motor.....	24
Şekil 3.10.	Örnek encoder görseli	24
Şekil 3.11.	Örnek servo redüktör.....	25
Şekil 3.12.	Örnek boşluksuz servo kaplin	26
Şekil 3.13.	Örnek spindle	26
Şekil 3.14.	Örnek takım tutucu pens.....	27
Şekil 3.15.	Örnek kontrol paneli.....	27
Şekil 4.1.	Takım boyutları gösterimi	31
Şekil 4.2.	Hidrolik mengenenin makine üzerinde gösterimi	34
Şekil 4.3.	Hidrolik mengene şematik gösterimi	35
Şekil 4.4.	Z eksen izometrik görünüşü	36
Şekil 4.5.	Lineer araba katalog görüntüsü	39
Şekil 4.6.	Z eksen yandan görünüşü	39
Şekil 4.7.	Y eksen izometrik görünüşü.....	40
Şekil 4.8.	Örnek servo motor kataloğu	42
Şekil 4.9.	Y eksen yandan görünüşü	43
Şekil 4.10.	X eksen izometrik görünüşü.....	44
Şekil 4.11.	X eksen yandan görünüşü	46
Şekil 5.1.	Otomatik geçiş işareti kaldırıldığında mesh.....	48
Şekil 5.2.	Otomatik geçiş işaretlendiğinde mesh.....	49
Şekil 5.3.	Solidworks stres grafiği görüntü seçenekleri	49
Şekil 5.4.	1. İstasyon kuvvet ve yük görüntüsü	50
Şekil 5.5.	1.İstasyon mesh görüntüsü	51
Şekil 5.6.	1.İstasyon gerilme renk değişim görüntüsü.....	51
Şekil 5.7.	1.İstasyon yer değiştirme renk değişim görüntüsü	52
Şekil 5.8.	1.İstasyon gerinim renk değişim görüntüsü	52

Şekil 5.9.	1. İstasyon yorulma analizi örnek görüntü	53
Şekil 5.10.	2.İstasyon analizde sabitlenen yerler	54
Şekil 5.11.	2.İstasyon mesh görüntüsü	55
Şekil 5.12.	2. İstasyon gerilme renk değişim görüntüsü.....	55
Şekil 5.13.	2.İstasyon yer değiştirme renk değişim görüntüsü	56
Şekil 5.14.	2.İstasyon gerinim renk değişim görüntüsü	56
Şekil 5.15.	2. İstasyon yorulma analizi örnek görüntü	57
Şekil 5.16.	Gövde analizde sabitlenen yerler	58
Şekil 5.17.	Gövde mesh görüntüsü	59
Şekil 5.18.	Gövde gerilme renk değişim görüntüsü	59
Şekil 5.19.	Gövde yer değiştirme renk değişim	60
Şekil 5.20.	Gövde gerinim renk değişim görüntüsü	60
Şekil 5.21.	Gövde yorulma analizi örnek görüntü.....	61
Şekil 6.1.	Tezgâh genel görüntü teknik resmi	63
Şekil 6.2.	Tezgâh gövdesi teknik resmi	64
Şekil 6.3.	Örnek sol eksen teknik resmi	65
Şekil 6.4.	Ana taşıyıcı plaka teknik resmi	66
Şekil 6.5.	Ara plaka teknik resmi	67
Şekil 6.6.	Alt plaka teknik resmi	68
Şekil 6.7.	Konveyör genel görüntü teknik resmi	69
Şekil 6.8.	Hidrolik piston teknik resmi.....	70

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Yorulma dayanımına etki eden faktörler.....	16
Tablo 4.1.	Sert metal plakeli freze bıçakları için ilerleme değeri ve kesme hızları	30
Tablo 4.2.	k_s değeri tablosu	33
Tablo 5.1.	Hazır alınan spindle hıza göre doğal frekansları	53
Tablo 5.2.	Analizin program tarafından oluşturulan doğal frekans tablosu	54
Tablo 5.3.	Hazır alınan spindle hıza göre doğal frekansları	57
Tablo 5.4.	Analizin program tarafından oluşturulan doğal frekans tablosu	58
Tablo 5.5.	Hazır alınan spindle frekans değeri.....	61
Tablo 5.6.	Analizin program tarafından oluşturulan doğal frekans tablosu	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: İvme, (m/sn ²)
A _s	: Ortalama talaş kesit alanı, (mm ²)
a _p	: Paso derinliği, (mm)
b	: Kesici takımın genişliğini, (mm)
B	: Yana kayma değeri
D	: Takım çapı, (mm)
F	: Yatayda hareket için gerekli kuvvet, (N)
F _C	: Kesme kuvvetini, (N)
F _s	: Tezgâha karşı gelen kesme kuvveti, (N)
F _{s_z}	: Bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti, (N)
F _ö	: Eksenel kuvvet, (N)
F _t	: Somun çevirme kuvveti, (N)
g	: Yer çekimi ivmesi, (m/sn ²)
H	: Vidalı mil hatvesi
Hz	: Herz
h _m	:Talaşın ortalama kalınlığı
K _C	: Kesme kuvveti katsayısı
K _s	: Malzemenin kopma dayanımı, (Mpa)
M	: Eksen ağırlığı
M _a	: Eylemsizlik kuvveti
M _g	: Yer çekimindeb dolayı gelen kuvvet
N	: Newton
n	: Devir sayısı
P	: Gerekli güç
S _z	: Kesici takımın dişi başına düşen ilerleme
u	: İlerleme hızı
V	: Kesme hızına
Z	: Takımın diş sayısı
Z _e	: Aynı anda temas eden diş sayısı
χ	: Yerleştirme açısı
π	: Pi sayısı
φ _s	: Kavrama açısı
φ ₁	: Kavramaya giriş açısı
φ ₂	:Kavramadan çıkış açısı
Ø	: Çap işareti

Kısaltmalar

CAD	: Computer Aided Design, (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CNC	: Computer Numerical Control, (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
Dak	: Dakika
G kodu	: Geometrik kod
Kg	: Kilogram
Kw	: Kilowat
Mm	: Milimetre

AĞIR SERİ CNC PROFİL İŞLEME MAKİNESİ TASARIMI

ÖZET

CNC makineler bilgisayarlar tarafından kontrol edilebilen cihazlardır. 3D olarak tasarlanmış parçalar bilgisayar ortamında G kodlarına dönüştürülür, bu G kodlarını CNC makinelerdeki kontrolör program aracılığı ile çözümleyerek eksenlerin hangi doğrultuda ne kadar hızda ve ivmede gitmesine karar vermektedir. Gelen bu kodlar ile tezgâh en optimum hareketleri yaparak parça üzerinden talaş kaldırır. Çok karmaşık parçaları bile eksen sayısını artırarak tek bağlamada son haline getirebilir. Bu makineler otomotiv, kalıpcılık, savunma sanayi gibi alanlarda kullanılır. Bu çalışmada ise ağır seri profilleri işleyecek CNC makine tasarımı yapıldı. Makine üzerinde bulunan 3 adet spindle ile aynı anda 3 yüzeyde işleme yapılarak çok hızlı üretim kapasitesi sağlanabilir. Yapısal profilleri bu makine ile işleyerek daha hassas yapılar inşa edilebilir.

Anahtar Kelimeler: CNC Freze, Delik Delme, Diş Açma, Profil İşleme, Seri Üretim.

HEAVY SERIES CNC PROFILE PROCESSING MACHINE DESIGN

ABSTRACT

CNC machines are devices that can be controlled by computers. 3D designed parts are converted into G codes in the computer environment, these G codes are analyzed by the controller program in CNC machines and it is decided in which direction, at what speed and acceleration the axes will move. With these incoming codes, the machine makes the most optimum movements and removes chips from the part. Even very complex parts can be finalized in a single assembly by increasing the number of axes. These machines are used very frequently in sectors such as automotive, mold making and defense industry. In this study, a CNC machine was designed to process heavy series profiles. With the 3 spindles on the machine, very fast production capacity can be achieved by processing 3 surfaces at the same time. More precise structures can be built by processing structural profiles with this machine.

Keywords: CNC Milling, Hole Drilling, Thread Tapping, Profile Machining, Mass Production.

1. GİRİŞ

İnsanlığın varlığı süresince tüketim kaçınılmaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya nüfusunun sürekli arttığı bir ortamda, insanların ihtiyaç duyduğu tüketim malzemelerini daha kaliteli, hızlı ve uygun maliyetli bir şekilde temin etmek, üretim sistemlerinin gelişmesiyle mümkün olmaktadır. Üretim süreçlerinde önemli bir rol oynayan tezgâhlar, günümüzde bilgisayarlar aracılığıyla kontrol edilmekte ve optimize edilmiş üretim yöntemlerine olanak tanımaktadır.

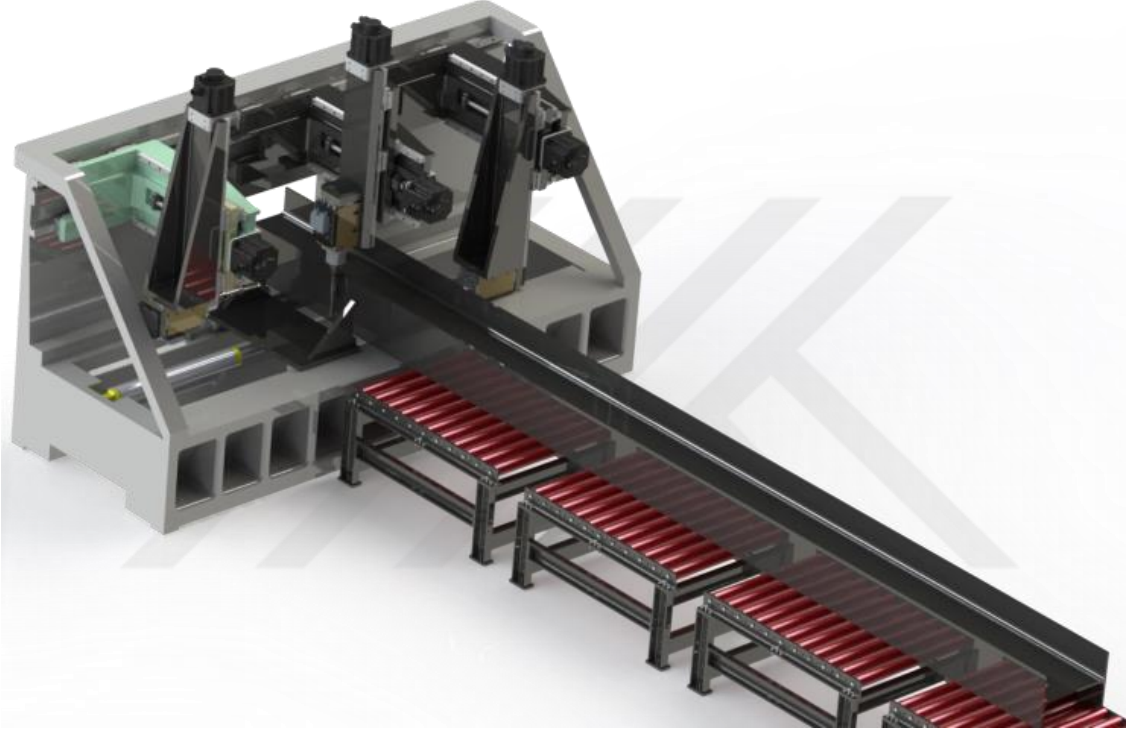
CNC, bu kontrol sürecini sağlayan bir yöntem olarak karşımıza çıkar. CNC, İngilizce kısaltması olan "computer numerical control" şeklinde ifade edilir ve bu teknoloji, çeşitli tezgâhlarla bir araya geldiğinde etkili bir üretim sürecini mümkün kılar. Freze, matkap, torna ve lazer kesim makineleri gibi örnekler, bu teknolojinin çeşitli uygulama alanlarını temsil eder. Bu gelişmiş üretim sistemleri, hızlı ve doğru üretim ile birlikte daha verimli bir tüketim döngüsü oluşturarak kaynakların daha etkili kullanılmasına katkı sağlar. Ancak, bu teknolojik ilerlemeyle birlikte, sürdürülebilirlik, etik sorumluluklar ve iş gücü dinamikleri gibi konuların da göz önünde bulundurulması önemlidir. Teknolojinin hızla evrim geçirmesiyle birlikte, imalatta geleneksel tezgâhların kullanım payı sürekli olarak azalmakta ve yerlerini CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) tezgâhları almaktadır. Ağır seri profiller inşaat gibi katma değeri düşük işlerde çok sık tercih edildiği için genelde makine kullanımı az olmaktadır; ama hassas ve büyük inşaatlarda ve seri işlerde makine kullanımı önem arz etmektedir.

Ağır seri profiller daha çok santraller, alışveriş merkezleri, köprüler gibi büyük yapılarda kullanılır. Bu profillerin kolay montajı için üzerlerine daha öncesinde işlemler yapılması gerekir. Kaynaklı, cıvatalı, perçinli bağlantı gibi işlemler yapabilmek için daha önce buralarda makineler yardımıyla gerekli proseslerin yapılması gerekir.

Bu projede, tasarlamış olduğum 3 istasyonlu profil işleme makinesinin mühendislik hesapları ve makinede kullanılan parçaların seçimleri anlatıldı. Profil işleme makinesinde 3 adet istasyon bulunduğu için profilin aynı anda 3 düzleminde işlem yapılabilir. Profil rulolu konveyör üzerinde otomatik sürücü ile sürülürken eksenler profil üzerine delik delme, dış açma, markalama frezeleme gibi işlemleri yapar.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tasarıma başlamadan önce diğer firmaların profil işleme makinesi üzerine yaptığı çalışmalar ve makineler incelendi. CNC makineler üzerine yazılmış tezler, makaleler, patentler ve dergi yayınları incelendi. Aşağıda incelenen tezlerin özetleri bulunmaktadır. Şekil 2.1’de ağır seri profilleri işlemek için tasarımı yapılmış makine yer almaktadır.



Şekil 2.1. Tasarımı yapılan makinenin izometrik görünüşü

2.1.CNC Makinelerle İlgili Yapılan Çalışmalar

Erer, (2000) çalışması, CNC takım tezgâhlarıyla ilgili genel gelişmelere odaklanarak bu teknolojinin endüstriye getirdiği avantajlara ve teknolojik değişimin sebeplerine değinmektedir. Çalışmada CNC tezgâhlarının tanımı yapılmış ve endüstrideki kullanım kolaylıklarına vurgu yapılmıştır. Ayrıca, CNC teknolojisindeki gelişmelerin arkasındaki nedenlere de ışık tutulmuştur. Erer’in çalışması, CNC takım tezgâhlarının çalışma prensipleri ve sistemleri hakkında detaylı bilgiler sunarak bu teknolojinin kullanımının kolaylığına önemli ölçüde dikkat çekmiştir. Ayrıca, CNC tezgâhların ürettiği iş parçalarının, diğer imalat takım tezgâhlarına kıyasla daha standart ve hassas olduğunu belirtmiştir. Geleceğe dair öngörülerde bulunan Erer, CNC tezgâhlarının yaygın

kullanımının artmasıyla birlikte universal tezgâhların kullanımının azalacağına işaret etmiştir. Bu tür öngörüler, endüstrideki teknolojik dönüşümün ve CNC tezgâhlarının işleyişinin, üretim süreçlerini daha hassas ve etkili hale getirerek endüstri standartlarını değiştirmekte etkili olduğunu göstermektedir.

Göloğlu, Bunarbaşı, (2004) çalışması, lineer hareket mekanizmalarının imalatı ve tasarımı üzerine odaklanmıştır. Çalışmada, lineer hareket mekanizmalarının özellikleri ve verimlilikleri üzerinde detaylı bir inceleme yapılmıştır. Ayrıca, bu mekanizmaların farklı elemanlarının analizi gerçekleştirilmiştir.

Özellikle, mil üzerinde kayan makaralar ile hareket eden üç eksenli bir doğrusal hareket mekanizmasının tasarımı ve hesapları çalışmanın merkezine yerleştirilmiştir. Bu tasarım, çalışmanın temel odak noktası olmuş ve bu mekanizmanın imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, endüstriyel uygulamalarda kullanılan doğrusal hareket mekanizmalarının tasarım süreçleri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, mil üzerinde kayan makaraların kullanılmasıyla ilgili detaylı analiz ve hesaplamalar, tasarımın sağlamlığını ve fonksiyonelliğini desteklemek adına yapılmıştır. Bu tür çalışmalar, mühendislik alanında tasarım ve imalat süreçlerine katkıda bulunarak endüstriyel uygulamalarda daha verimli ve optimize edilmiş mekanizmaların geliştirilmesine yardımcı olabilir.

Büyükşahin, (2005) çalışması, üç eksenli CNC tezgâh tasarımı ve uygulamasına odaklanmıştır. Bu çalışmada, CNC tezgâhlarının genel yapısı ve bu tezgâhları oluşturan parçalar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca, CNC tezgâhlarının seçim kriterleri üzerinde durulmuştur, bu da teknoloji seçimi sürecinde dikkate alınması gereken faktörlerin analiz edildiği bir bölüm içermektedir. Özellikle, çalışma kapsamında yeni bir CNC freze tezgâhı tasarlanmış, bu tasarım üzerinde gerekli analizler ve hesaplamalar yapılmış ve nihayetinde bu tasarımın imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, CNC teknolojisinin pratik uygulamasına dair kapsamlı bir örneği içermektedir. Büyükşahin U.'nun bu çalışması, CNC teknolojisinin tasarım, analiz ve imalat süreçlerine dair detaylı bir anlayış sağlamaktadır. Ayrıca, bu tür araştırmalar, endüstriyel uygulamalarda daha etkili, verimli ve özgün CNC tezgâh tasarımlarının geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Kutlu, (2006) çalışması, üç eksenli masa tipi CNC freze tezgâhının tasarımı ve imalatına odaklanmış, bu alandaki tasarım parametrelerini belirleyerek tezgâhın statik ve dinamik özelliklerini optimize etmiştir. Çalışma çerçevesinde, tezgâhın eksenlerini tahrik etmek için step motorlar kullanılmıştır. Ayrıca, masa tipi üç eksenli CNC freze tezgâhının elektronik kontrolü, bir kontrol kartı ve step motor sürücüleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir; bu kontrol kartları standart ürün olarak satın alınmıştır. Bu çalışma, CNC teknolojisiyle ilgilenenler için önemli bir kaynak olabilir. Kutlu'nun yaptığı tasarım parametreleri, analizler ve hesaplamalar, özellikle masa tipi üç eksenli CNC freze tezgâhlarının imalat ve tasarım süreçlerine yönelik kapsamlı bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, hazır kontrol kartları kullanarak tasarımın uygulanabilirliğini artırması, endüstriyel uygulamalar için pratik bir model sunmaktadır.

Karaçam, (2009) çalışması, adım motor kontrollü hızlı bir CNC freze tasarımını ve imalatını gerçekleştirmiş ve bu alanda önemli adımlar atmıştır. Çalışmada, 3 eksenli bir CNC tasarlanmış ve bu tasarımın imalatı gerçekleştirilmiştir. Özellikle, kare lineer kızaklar kullanılarak bu tasarımın temeli oluşturulmuştur. Çalışma aynı zamanda, step motor sürücülerinin mikro adım şeklinde çalışabilenlerinin tasarımına odaklanmıştır. Bu sürücülerin yüksek hızlarda nasıl performans gösterdiğini inceleyerek, çalışma sonuçlarını değerlendirmiştir. Bu detaylı analiz, tasarımın ve kullanılan teknolojinin etkinliğini anlamak adına önemli bir katkı sağlamıştır. Karaçam'ın çalışması, adım motor kontrollü CNC freze tasarımları ile ilgilenenler için değerli bir kaynak olabilir. Özellikle, mikro adım çalışabilen step motor sürücülerinin performansını değerlendirmesi, bu tür sistemlerin hız ve hassasiyeti üzerindeki etkilerini anlamak adına önemli bir adımı temsil etmektedir.

Kavala, (2010) çalışması, üniversitede bulunan ancak âtil durumda olan üç eksenli CNC tezgâh üzerinde, iki döner eksenli tabla tasarlayarak ve imalatını yaparak beş eksenli tezgâha dönüştürmüştür. Bu önemli dönüşüm, tezgâhın yeteneklerini genişletmiş ve daha karmaşık iş parçalarının işlenmesine olanak tanımıştır. Tezgâh üzerinde beş fazlı step motor kullanılmıştır. Kavala, bu beş eksen için dört ve beş fazlı motor sürücü tasarımı yapmıştır. Bu tasarımlar, tezgâhın beş eksenli işleme yeteneğini desteklemek ve kontrol etmek adına önemli bir rol oynamıştır. CNC tezgâh programı kontrolü için emc (geliştirilmiş makine kontrolörü) kullanılmıştır, bu kontrolör Linux tabanlıdır. Bu

kontrol sistemine entegre edilen G kodları sayesinde, iş parçalarının işlenmesi ve aynı anda beş eksenin çalıştırılması mümkün hale gelmiştir. Bu, tezgâhın çok yönlü ve karmaşık işleme kabiliyetini artırmıştır. Kavala'nın çalışması, üniversite bünyesinde mevcut kaynakları etkin bir şekilde kullanarak beş eksenli CNC tezgâh tasarımı ve kontrolü konusunda önemli bir başarıyı temsil etmektedir.

Savaş, (2011) çalışması, 3 eksenli CNC kartezyen tezgâhının basitliği ile 5 eksenli CNC kartezyen tezgâhının esnekliğini birleştiren yeni bir 3 eksenli küresel CNC işleme tezgâhının tasarımını ve imalatını gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, mevcut CNC tezgâhlarının avantajlarını bir araya getirerek özgün bir tasarımın prototipini oluşturmuştur. Üretimi yapılan küresel 3 eksenli bilgisayarlı sayısal kontrollü işleme tezgâhı prototipi, çeşitli kinematik analizler yapılarak diğer küresel tip mekanizma tipleri ile karşılaştırılmıştır. Bu tasarımın performansını ve özgünlüğünü değerlendirmek adına önemli bir adımdır. Çalışmada mekanizmaya bir kontrol ünitesi konularak esnek ve kullanışlı bir kullanıcı ara yüzü oluşturulmuştur. Bu, cad verilerinden kolayca takım yolu modellenmesini sağlayarak işleme sürecini optimize etmiştir. Bu özellik, kullanıcıların daha verimli ve esnek bir şekilde CNC işleme tezgâhını kullanmalarına olanak tanımıştır. Savaş'ın çalışması, CNC teknolojisinin gelişimine katkıda bulunan ve özgün bir tasarım sunan önemli bir projeyi temsil etmektedir.

Gevrek, (2013) çalışması, prototip bir üç eksenli CNC freze tezgâhının tasarımını ve imalatını başarıyla gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, endüstride kullanılan CNC makinelerinin imalat ve tasarım aşamalarının hangi kriterlere dikkat edilerek üretildiği, bu makinelerin dezavantajları ve avantajlarının neler olduğu konularına odaklanmıştır. Ayrıca, tasarlanan tezgâhın hassasiyet analizi de detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Gevrek'in çalışması, CNC teknolojisinin pratik uygulamasına yönelik önemli bir örneği temsil etmektedir. Prototip tezgâhın tasarımı ve imalatı sürecindeki kriterler, endüstriyel uygulamalarda etkili ve verimli bir CNC freze tezgâhının nasıl oluşturulabileceği konusunda değerli bilgiler sunmaktadır. Aynı zamanda, tezgâhın hassasiyet analizi, tasarımın performansını değerlendirmek adına önemli bir aşamayı temsil etmektedir.

2.2.Üretim Yapan Benzer Firmalar

Bu bölümde aynı işlev için üretilmiş makineler ve özellikleri yer almaktadır.

2.2.1.Akyapak

Türkiye menşelidir. 1960'lı yıllardan beri üretim yapmaktadır. Ağır seri profil işleme makinesi yapan yerli tek firmadır, belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.2.'de Akyapak firmasının ağır seri profilleri işlemek için yapmış olduğu makine görseli yer almaktadır.

Makine özellikleri:

Akyapak firması makineleri Adm olarak adlandırıyor. ADM serisi, H, I ve U profillerin, köşebentlerin, standart 10-40mm veya daha büyük çaplarda delik delme kapasitesine sahip bir ekipman grubudur. Bir, iki veya üç bağımsız spindleden oluşur.

- Kontrol paneli olarak Mitsubishi ve Siemens alternatifleri vardır.
- 22 Kw spindle sahiptir.
- Spindle 50-3000D/dak hız ile döner.
- Her spindle için 6 takım bağlanabilir.
- Makine ağırlığı 13000 kg'dır.



Şekil 2.2. Akyapak firmasına ait makine (URL-1)

2.2.2.Ficep

İtalya menşelidir. 90'lı yıllardan beri üretim yapmaktadır. Profil işleme makineleri sektöründe sıkça tercih edilmektedir, belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.3'te Ficep firmasının ağır seri profilleri işlemek için yapmış olduğu makine görseli yer almaktadır.

Makine özellikleri:

- Tek spindle ve 3 spindle olan makineleri bulunmaktadır.
- Spindle birbirinden bağımsız hareket edebilmektedir.
- Kontrol paneli Steel projects'dir.
- 23Kw spindle kullanmaktadır.
- Kademesiz delme çapı maksimum 40mm'dir.
- Her spindle maksimum 5000 D/dak ile dönmektedir.
- Her spindle için 6 takım bağlanabilmektedir.
- Makine ağırlığı 10000 kg'dır.



Şekil 2.3. Ficep firmasına ait makine (URL-2)

2.2.3.Peddinghouse

Amerika menşelidir. Profil işleme makineleri sektöründe sıkça tercih edilmektedir, belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.4'te Peddinghouse firmasının ağır seri profilleri işlemek için yapmış olduğu makine görseli yer almaktadır.

Makine özellikleri:

- 3 spindle ile işleme işlemi yapmaktadır.
- Siemens işletim sistemine sahiptir ve Raptor 3D cad/cam yazılımı kullanılmaktadır.
- Spindle 18,5 Kw gücündedir.
- Kademesiz delme çapı maksimum 50mm'dir.
- Her spinlde 5 takım bağlanabilmektedir.
- 1800 d/dak hızla spinle çalışmaktadır.
- Aynı eksenle 3 matkap tertibatı ile toplamda 9 delik delebilmektedir.
- Matkabın kırıldığını anlayıp uyarı veren sistem vardır.



Şekil 2.4. Peddinghouse firmasına ait makine (URL-3)

2.2.4.Vernet

Almanya menşelidir. Profil işleme makineleri sektöründe sıkça tercih edilmektedir, belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.5'te Vernet firmasının ağır seri profilleri işlemek için yapmış olduğu makine görseli yer almaktadır.

Makine özellikleri:

- 150mm stroklu 3 spindle sahiptir.
- Kontrol sistemi pronc2 3d'dir.
- Spindle 4000 d/dak hızla dönmektedir.
- Spindle motorları 11 kw'dır.
- Kademesiz delme çapı maksimum 40mm'dir.
- Her spindle 5 takım bağlanabilmektedir.



Şekil 2.5. Vernet firmasına ait makine (URL-4)

2.2.5.Ritec

Çin menşelidir. Profil işleme makineleri sektöründe sıkça tercih edilmektedir, belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.6'da Ritec firmasının ağır seri profilleri işlemek için yapmış olduğu makine görseli yer almaktadır.

Makine özellikleri:

- 34 kw güce sahiptir
- 3 spindle bulunmaktadır.
- Spindle dönme hızı 5000 d/dak'dır.
- Kademesiz delme çapı maksimum 33.5mm'dir.
- Her spindle için 4 takım kapasitesine sahiptir.
- Makine ağırlığı 8000 kg'dır.



Şekil 2.6. Ritec firmasına ait makine (URL-5)

2.2.6.Voortman

Fransa menşelidir. Profil işleme makineleri sektöründe sıkça tercih edilmektedir, belli başlı özellikleri aşağıdaki gibidir. Şekil 2.7'de Voortman firmasının ağır seri profilleri işlemek için yapmış olduğu makine görseli yer almaktadır.

Makine özellikleri:

- 30 kw güce sahip 3 spindle sahiptir.

- Motorlar 2500 d/dak hız ile çalışmaktadır.
- Her spindle 5 takım kapasitesine sahiptir.
- Alt yüzeye işlem yapmak için opsiyon eksenli bulunmaktadır.
- Makine ağırlığı 14000 kg'dır.



Şekil 2.7. Voortman firmasına ait makine (URL-6)

2.3.Ağır Seri Profiller

Ağır seri profiller çelik yapıların imalatında ve makine şasi parçalarında kullanılır, yapı profilleri şekline göre HEB, HEA, HEM, NPI, İPE, NPU gibi ve kare ve dikdörtgen profil olarak adlandırılır. Açık tip olanlar haddeleme yöntemi ile üretilmektedir. Profiller sökülebilir ve sökülemez olarak 2 farklı yöntemle birleştirilirler. Sökülemez birleşim yöntemleri olarak kaynak ve perçinli imalat teknikleri kullanılır. Sökülebilir birleşim yöntemleri olarak cıvatalı bağlantılar kullanılır. Cıvatalı ve perçinle bağlantı tiplerinde profiller üzerine montaj delikleri delinmesi gerekmektedir. Bu montaj deliklerinin konum hassasiyeti hassas montaj kalitesi için çok önemlidir. Eski üretim yöntemlerinde deliklerin konumlarını belirlemek için şablon çıkarılarak profillerin üzerine işaretleme yapıp ardından matkapla delik delme işlemi yapılırdı. Yeni üretim yöntemlerinde ise CNC makineler yardımıyla modeli hazırlanmış data makine üzerine G kodları ile aktararak hassas bir delik delme işlemi yapılmaktadır. CNC makineler sayesinde hem daha hassas konumlama hem de şablon ihtiyacı ortadan kalktığı için daha seri bir üretim gerçekleşmektedir. Aşağıda şekil 2.8'de örnek ağır seri profillerin şekilleri yer almaktadır. Bu profiller 6-12-28 metre uzunluklarında tek parça

üretilebilmektedir. CNC makineler bu profilleri kaydırarak tek parça halinde hassas işlemler yapabilmektedir.



Şekil 2.8. Örnek ağır seri yapısal profiller

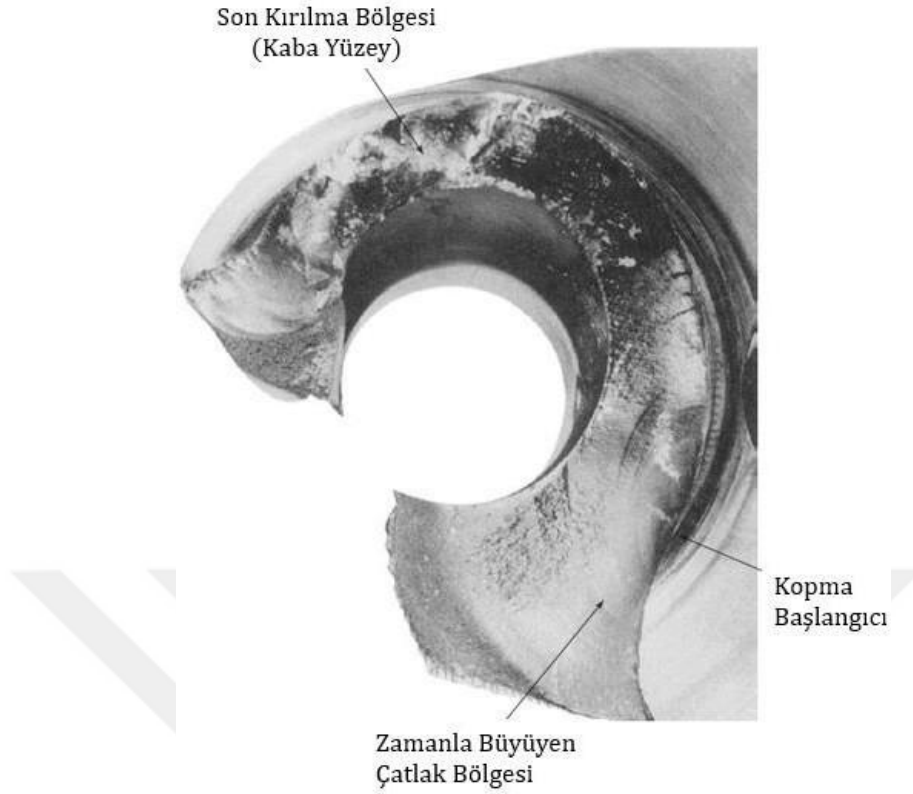
2.4.Yorulma

Ağır seri profil işleme makinesi tasarımında seçilen spindle doğal frekansına göre talaşlı imalatı yapılan parçaların doğal frekans analizi yapıp rezonans olayı değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise bu konu ile ilgili literatür taraması yer almaktadır.

Mühendisler, 19. yüzyılın ortalarına kadar, statik yükler gibi tekrarlanan kuvvetlere veya değişken gerilmelere, yüksek güvenlik faktörlerinin kullanıldığı tasarımlar dışında yaklaştılar. "Yorulma" (Fatigue) terimi ilk kez 1839'da Fransa'dan Poncelet'in yayımlanan bir kitabında geçti. (Juvinall, Marshek,2006).

Yorulmaya bağlı kopmalar, genellikle gerilmelerin fazla olduğu mikroskobik kırılma bölgelerinde meydana gelmeye başlar. Bu yüksek stresli bölgeler, genellikle geometrik olarak gerilme değerlerini artırıcı bir etki gösterir. İnceleme yapıldığında, kırığın küçük bir alandan başlayarak zamanla ilerlediği ve parçanın kesit ölçülerinin giderek zayıflayıp, gerilme değerinin kopma dayanımı noktasını aştığı ve sonunda parçanın tamamen koptuğu görülür. Son kırılma genellikle kırılğan malzemelerin kırılma biçimini sergiler. (Juvinall, Marshek,2006).

Son yüzyılda yapılan kapsamlı çalışmalarda, yorulma mekanizması ile ilgili birçok bilgiye ulaşmamızı sağlamaktadır. (Juvinall, Marshek,2006). Şekil 2.9'da krank milinin yorulma nedeniyle kopmuş olan parçası yer almaktadır.



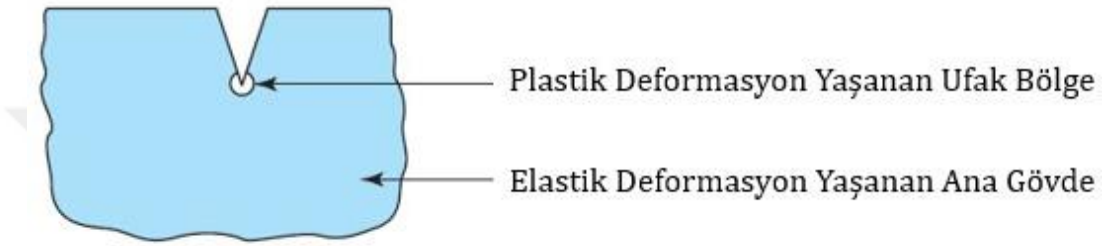
Şekil 2.9. Krank milinin yorulma nedeniyle kopması (Juvinall, Marshek,2006)

2.4.1. Yorulma Davranışının Temel Kavramları

1. Yorulma kırılmaları, tekrar eden değişken gerilmelerin sonucudur; örneğin bir telin ileri geri bükülmesiyle kopması buna güzel bir örnek olarak verilebilir.
2. Tel üzerine sürekli plastik şekil değiştirme uygularsanız, tel kırılabilir. Ancak yorulma kırılmaları genellikle binlerce hatta milyonlarca döngü boyunca meydana gelir ve sıklıkla sadece mikroskobik düzeydeki deformasyonlarla başlar. Yorulma kırılmaları, malzemenin geleneksel olarak belirlenmiş akma gerilmesinin çok daha altında olabilir.
3. Yorulma kırılmalarının başlangıç noktaları, bölgesel düzeyde plastik deformasyonun meydana geldiği yerlerdir. Bu tür bölgeler, keskin köşeler, delikler, kama yerleri, dış açılan yerler ve aşınmaya uğrayan bölgeler gibi yorulma dayanımı bakımından zayıf bölgelerdir. Bu bölgelerin geometrisinde değişiklik yapmak, parçayı daha dayanıklı bir malzemeden yapmak kadar etkili olabilir. (Juvinall, Marshek,2006).
4. Eğer bir alanda olan plastik deformasyon yeterince küçükse, orada gerinimden dolayı sertleşme oluşabilir ve böylece plastik deformasyon durabilir. Parça bu aşırı yükten aslında faydalanmış olur. Ancak eğer bölgesel plastik deformasyon bu

seviyeyi aşarsa, bölge artık sünekliğini kaybeder ve parça sürekli çevrimsel yüke maruz kaldıkça yorulma kırılmasının gerçekleşmesine sebep olur. (şekil 2.10).

5. Başlangıçta yorulmadan dolayı oluşan kırıklar, genellikle o alanda gerilme yoğunluğunu artırır. Kırık çoğalmaya başladıkça parçanın kesit ölçüsü azalır ve üzerine gelen gerilme değerleri artar. Bu kırık, zayıf noktadaki mukavemeti aşır, parça artık yükü taşıyamayacak duruma gelene kadar büyür. Sonunda yorulma kopması gerçekleşir. (Juvinall, Marshek,2006).



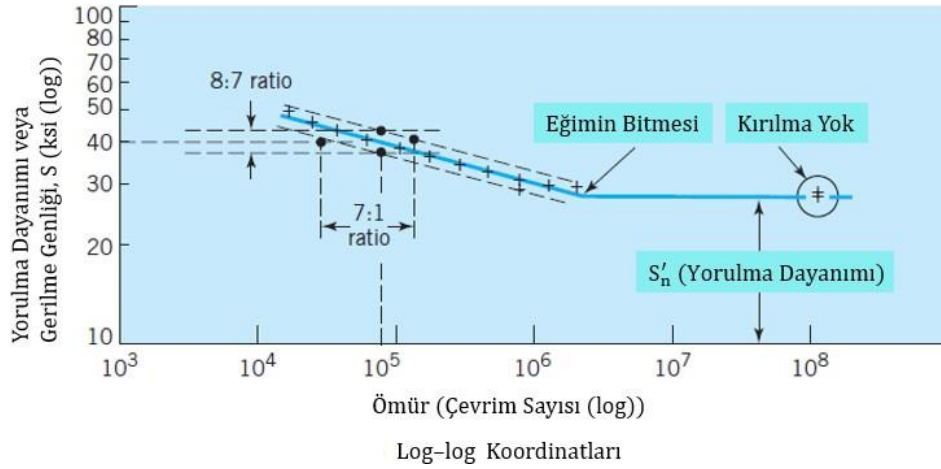
Şekil 2.10. Çeltikli bir bölgenin gerilme altındaki davranışı (Juvinall, Marshek,2006)

Malzemenin yorulma davranışının öngörülmesi, modern mühendislikte son derece kritik bir rol oynamaktadır. Makinelerdeki kırılmaların %80'inin yorgunluktan kaynaklanmaktadır. Birçok mühendislik ürünü prototip aşamasında yorgunluk analizlerine tabi tutulur ve bu ürünlerin çalışma ömrü anlaşılmasına çalışılır. (Juvinall, Marshek,2006).

2.4.2. S-N Eğrisi (Wöhler Eğrisi)

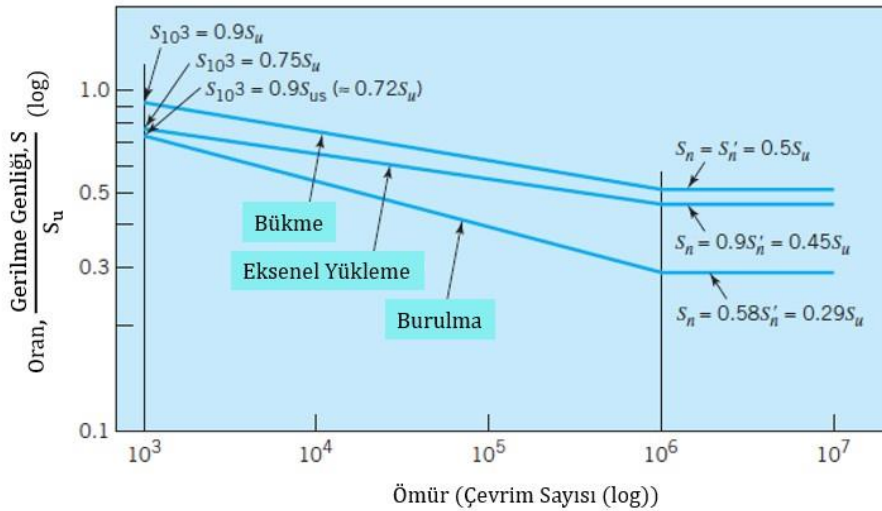
Alman bilim adamı August wöhler 1842 yılında Fransa'da gerçekleşen bir tren kazasını incelerken Wöhler eğrisini keşfetmiştir. Tren lokomotifinde kullanılan aks düşük gerilme oluşacak kuvvetler uygulanarak çalışmasına rağmen devamlı çalıştığı için hasara uğrayıp kırılmıştır. Bilim adamı hasara uğrayan akslar üzerinde çalışma yaparken aksların üzerine gelen gerilmelerin ve süreklilikleri arasındaki ilişki olan S-N eğrisini oluşturmuştur. Bir parçanın belli bir çevrim sayısında belli bir gerinim değerinde kırılması yorulma ile adlandırılır. Çeliklerin yorulma grafiği çıkarılabilmesi için birçok deney yapılmıştır. Çeliğin birçok genlikte yorulurken koptuğu değere dayanım limiti denir. Dayanım limiti S sembolü ile gösterilir. Dayanım limiti test yapılarak elde edilmişse S' ile gösterilir. S-N eğrileri genellikle çeliklerin yorulmalarına yorum

yapmak için kullanılır.



Şekil 2.11. Çelik malzemelerde S-N Diyagramı örneği (Juvinall, Marshek,2006)

S-N eğrisindeki yatay çizgi, çeliklerde 10^6 ile 10^7 arasındaki çevrimlerde bulunur. Genellikle çeliklere 10^6 çevrime karşılık gelen gerilme genliği değerinden daha fazla kuvvet uygulanmaz. Şekil 2.11’de dayanım limiti değeri ile nominal limit değeri arasındaki standart sapması gösterilmiştir. (Juvinall, Marshek,2006).



Şekil 2.12. Çelik malzemelerde S-N Diyagramı (Juvinall, Marshek,2006)

Şekil 2.12’de çelik malzemelerde S-N diyagramı örneği yer almaktadır.

Sünek malzemelerin, yorulma dayanımı denklem (2.1) ile hesaplanabilir.

Bu denklem kullanılabilmesi için parçaya gelen gerilmelerin tam değişken olduğu değerler olması gerekmektedir.

$$S_n = S_n' \times C_L \times C_G \times C_S \times C_T \times C_R \quad (2.1)$$

Tablo 2.1. Yorulma dayanımına etki eden faktörler (Konez, 2019)

a) 10^6 çevrim dayanımı (Dayanım Limiti)				
Bükme Yükleri: $S_n = S_n' C_L C_G C_S C_T C_R$				
Eksenel Yükler: $S_n = S_n' C_L C_G C_S C_T C_R$				
Burulma Yükleri: $S_n = S_n' C_L C_G C_S C_T C_R$				
S_n' 10^3 çevrim sayısının dayanım limitidir.				
		Bükme	Eksenel	Burma
C_L	(Yük Faktörü)	1.0	1.0	0.58
C_G	(Ölçü Faktörü):			
	çap < 10 mm	1.0	0.7 – 0.9	1.0
	10 < çap < 50 mm	0.9	0.7 – 0.9	0.9
C_S	(Yüzey Faktörü):	Tablo 7.2		
C_T	(Sıcaklık Faktörü):	Değerler sadece çelik içindir.		
	$T \leq 840^\circ\text{F}$	1.0	1.0	1.0
	$840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F}$	$1 - (0.0032T - 2.688)$		
C_R	(Güvenirlilik Faktörü):			
	%50 güvenirlilik	1.000	1.000	1.000
	%90 güvenirlilik	0.897	0.897	0.897
	%95 güvenirlilik	0.868	0.868	0.868
	%99 güvenirlilik	0.814	0.814	0.814
	%99.9 güvenirlilik	0.753	0.753	0.753
b) 10^3 çevrim dayanımı				
Bükme Yükleri: $S_f = 0.9 S_u C_T$				
Eksenel Yükler: $S_f = 0.75 S_u C_T$				
Burulma Yükleri: $S_f = 0.9 S_{us} C_T$				
S_u üst çekme dayanımı, S_{us} üst kayma dayanımıdır.				

Görüldüğü gibi, Tablo 2.1’de yorulma dayanımını etkileyen faktörler şunlardır: ölçü faktörü, sıcaklık faktörü, yüzey faktörü, yük faktörü ve güvenirlilik faktörüdür. (Juvinall, Marshek,2006).

3. AĞIR SERİ PROFİL İŞLEME MAKİNESİ

Profil işleme makineleri genellikle 6-12-18 metre boyunda olan profillerden talaş kaldırma işleminde kullanılır. 6-12-18 metre boyunda gelen profil bir sürücü ile konveyörler üzerinde makine içine sürülür, talaş kaldırılacak bölüme gelince mengenerler profili sabitler ardında bağımsız 3 eksen profil üzerinden talaş kaldırır. O bölümdaki talaş kaldırma işlemi bitince mengene açılır profil tekrar ilerler talaş kaldırılmamış yer gelince mengene sabitler ve işlem bu şekilde devam eder. Tasarımı yapılan makine özellikleri aşağıdaki gibidir.

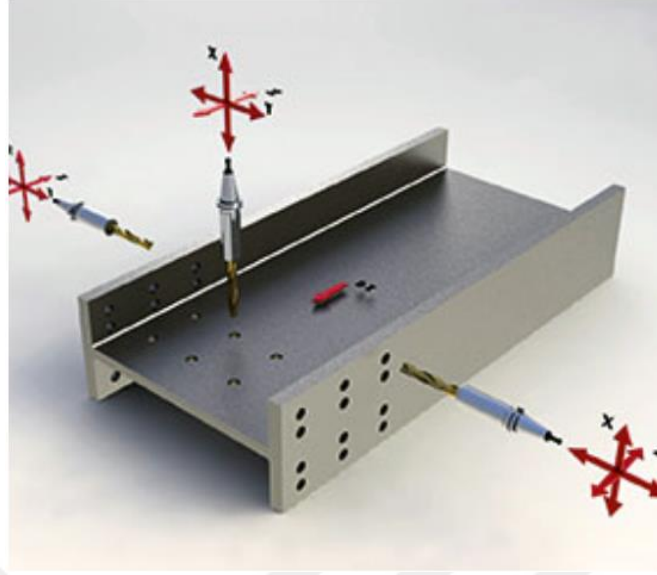
- Kontrol paneli olarak Mitsubishi ve Siemens alternatifleri vardır.
- 22Kw spindle sahiptir.
- Spindle 5000 d/dak hız ile döner.
- Her spindle için 6 takım bağlanabilir.
- Kademesiz delme çapı maksimum 40mm'dir.
- Makine ağırlığı 12000 kg'dır.
- Gövde ve eksenler çelik döküm yapıpı CNC işleme ile talaş kaldırarak üretilmiştir.

3.1.Profil İşleme Makinesi Bölümleri

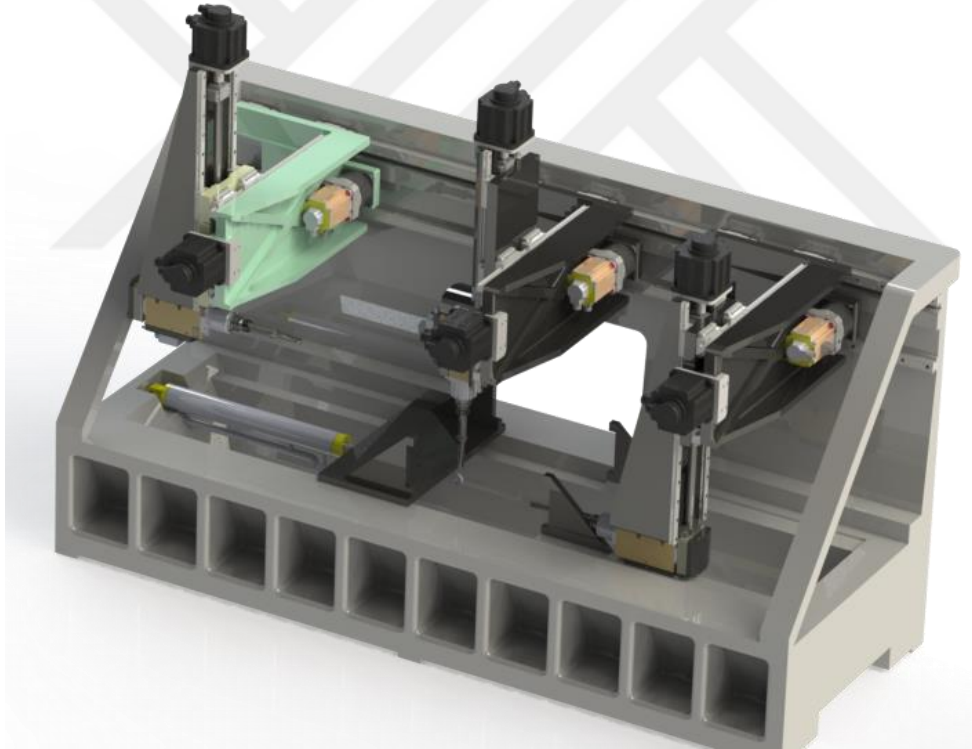
Profil işleme makineleri konveyör, profil sürme robotu, profil sabitleme sistemi ve işleme merkezinden oluşur. Bu tezde genel olarak işleme merkezi üzerinde boyutsal tasarım, analizler ve ürün seçimi için gerekli hesaplamalar yapıldı.

3.1.1.İşleme Merkezi

İşleme merkezi döküm gövde ve üzerinde hareketli 3 eksene sahip 3 spindleden oluşur. Her eksen kendi içinde ayrıyeten 3 eksene sahiptir. Bu sayede eksenler profilin 3 yüzünden talaş kaldırabilmektedir. Tezgâh gövdesi ve eksen plakaları dökme demirden yapılacak şekilde tasarlandı. Dökme demir maliyeti, malzeme tokluğu, titreşim absorbe edici gibi özelliklerinden dolayı tercih edildi. Döküm olduğu için ayrıca üretim sırasında daha az talaş kaldırma işlemi olacağı için üretim süresi kısalmış ve üretim maliyeti düşer. Şekil 3.1'de işleme merkezinin eksenlerinin şematik gösterimi yer almaktadır. Bu eksenler şekildeki gibi x, y, ve z yönlerinde hareket yapmaktadır.



Şekil 3.1. Eksenlerin şematik gösterimi



Şekil 3.2. Tasarımı yapılan makinenin izometrik görünüşü

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi profil işleme makinesinde 3 eksenle aynı anda talaş kaldırma işlemi yapılabilir. Burada talaş kaldırma olarak delik delme, diş çekme, markalama, kanal açma, kaynak ağzı açma gibi işlemler yapılabilir. Gerekli durumlarda eksenlerin 3’ü aynı anda veya tek tek çalışarak gerekli işlemleri yapar. Genel olarak H,

I, U, C ve kutu profillerin işleme işlemleri için hat kurulur, hatların boyları profil uzunluğuna göre ayarlanır. Şekil 3.3'te profil üzerinden talaş kaldırırken profil ve takım görseli görülmektedir.



Şekil 3.3. Örnek işlem yapılan profil (URL-7)

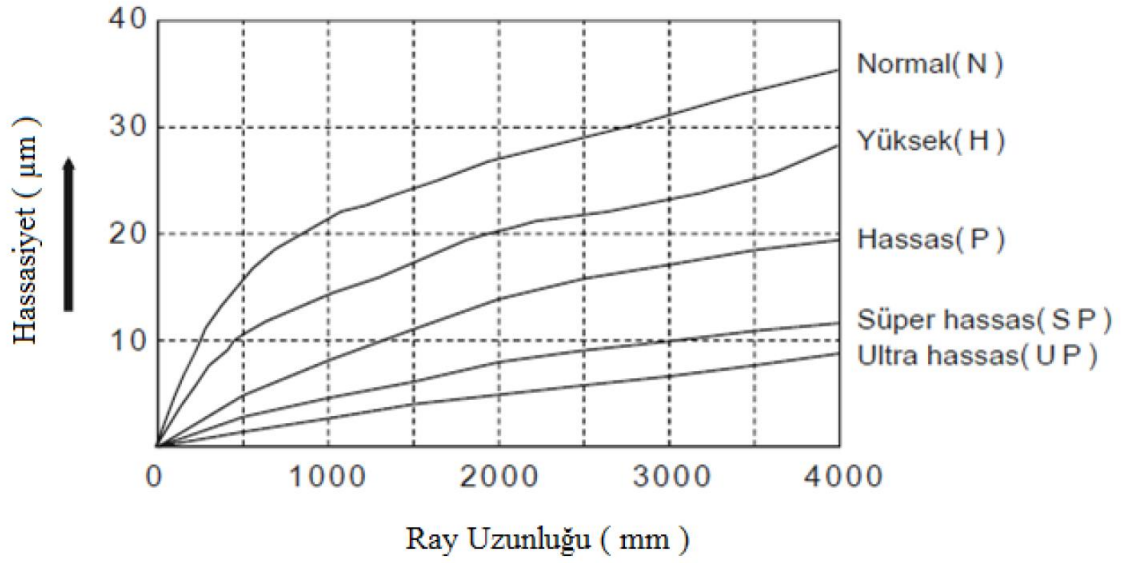
3.2.İşleme Merkezinde Kullanılan Hazır Alınmış Malzemeler

3.2.1.Lineer Kızak Araba Sistemleri

Lineer kızaklar belirli bir kütlenin lineer ekseninde hassas bir şekilde hareket etmesi için kullanılır. Taşıdığı kütleye göre bilyeli ve masuralı çeşitleri vardır. Yaptığım bu çalışmada, üzerine fazla kuvvet gelen yerlerde masuralı, az kuvvet gelen yerlerde ise bilyeli lineer araba kullanılmıştır. Şekil 3.4'te örnek lineer kızak ve araba görseli yer almaktadır. Kızakların yapacağı işlere göre ham maddesi ve geometrileri değişmektedir. Bunların da şekil 3.5'teki gibi belirli kalite sınıfları vardır.



Şekil 3.4. Örnek lineer kızak ve araba (Erden, 2018)

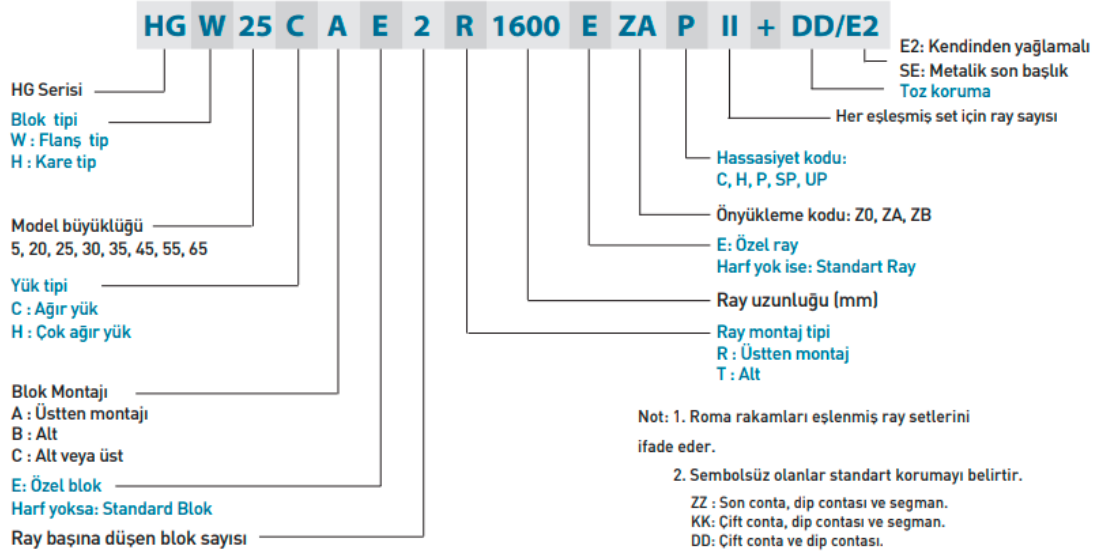


Şekil 3.5. Lineer kızakların uzunluk hassasiyet grafiği (Özsoy, 2016)

Lineer kızaklarda statik ve dinamik olmak üzere 2 çeşit yük derecesi bulunur. Statik yük en büyük baskının uygulandığı temas noktasında bulunan döner eleman ve kanal çapının 0.0001 katı kadar toplam kalıcı deformasyon yaratacak olan sabit büyüklük ve sabit yöndeki yüküdür.

Dinamik yük ise yönünde ve büyüklüğünde değişiklik olmayan bir raylı kızak için bilyeli 50km masuralı 100km çalışma ömrüne sahip yüke denir.

Lineer arabalar şekil 3.6'daki gibi kod verilerek sipariş edilirler. Bu kodun içeriğinde lineer arabanın özellikleri yer almaktadır.

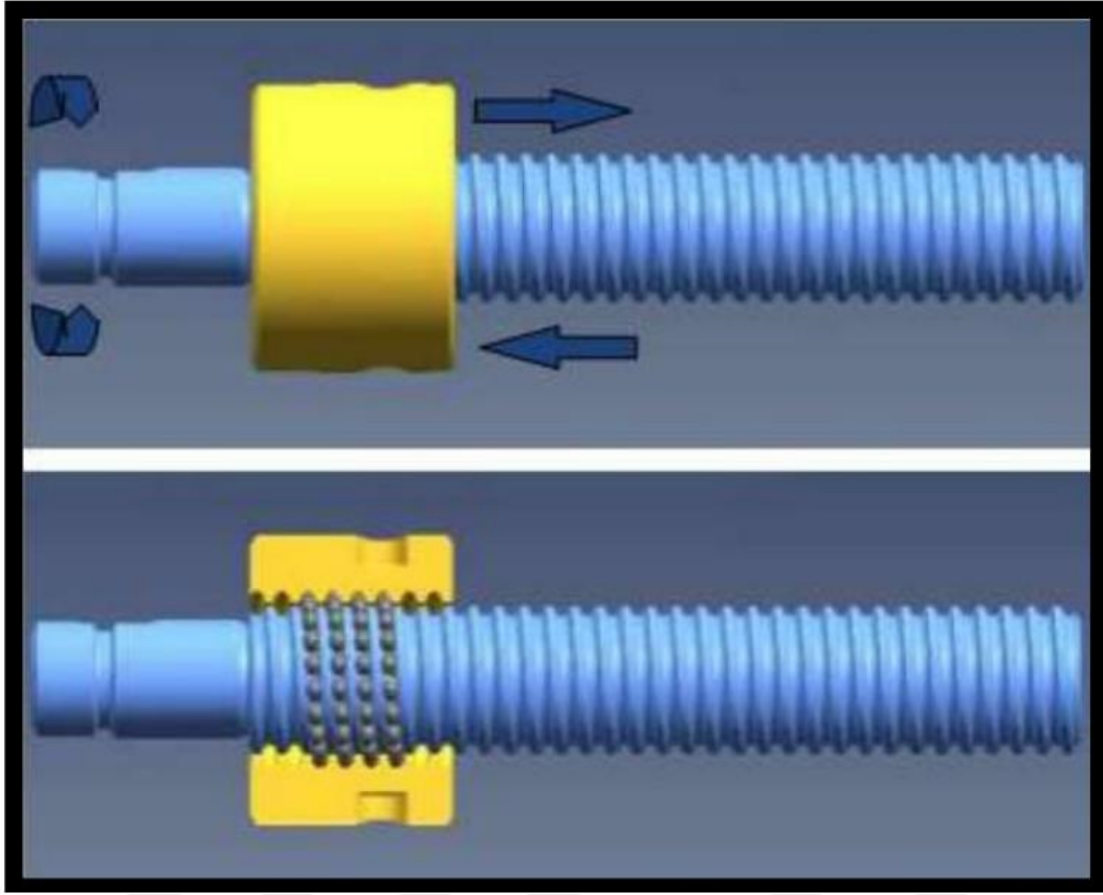


Şekil 3.6. Lineer araba siparişi kodlandırılması (Hiwin, 2019)

Lineer arabalara muadil olarak lineer rulman sistemleri de vardır. Bu sistemler lineer arabalara göre daha az hassas ve uzun stokta fazla yük taşıyamama gibi sebeplerden dolayı lineer arabalar tercih edilmiştir.

3.2.2. Vidalı Mil ve Somun

Vidalı mil ve somunundan oluşan sistemler dairesel hareketi lineer harekete çevirir. Mil üzerinde kanallar vardır, somun içinde ise sürtünmeyi azaltmak için bilyeler bulunur. Trapez miller de vidalı millerle aynı görevi yapmaktadır. Trapez millerde bilye bulunmaz. Bilye bulunmadığı için vidalı miller kadar boşluksuz ve hassas çalışmaz. Konum hassasiyeti olmayan sadece dönme hareketini lineer harekete çevirmek istendiği durumlarda trapez millerde tercih edilebilir. Vidalı miller başından ve sonundan yataklanarak sisteme sabitlenir uzun sistemlerde mil ısıdan dolayı uzayabileceği için sabitleme noktasından eksenel yönde harekete izin verilir. Kısa ve ısı değişimi çok olmayan sistemlerde 2 taraftan da eksenel sabitleme yapılabilir. Şekil 3.7'de vidalı mil, vidalı mil somunu ve kesiti yer almaktadır.



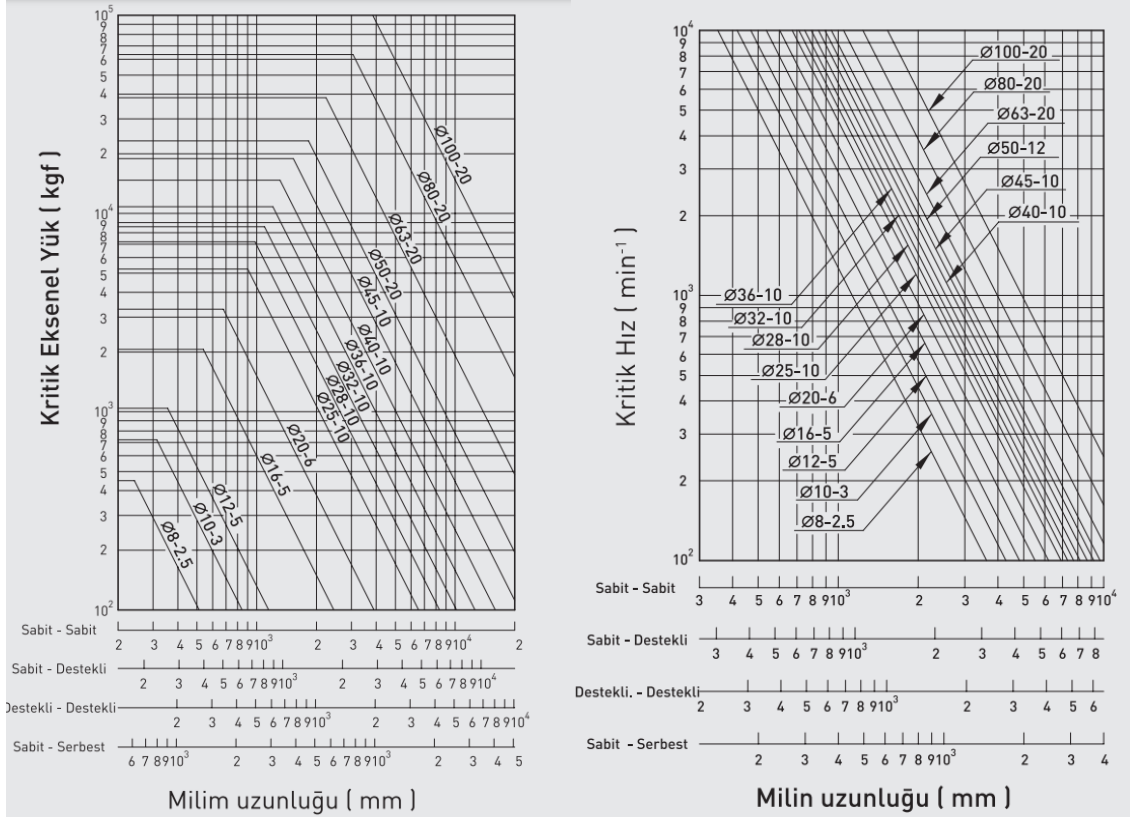
Şekil 3.7. Örnek vidalı mil ve somun (Erdöl, 2014)

Vidalı millerin hassasiyet sınıfları vardır, kullanılacağı işe göre uygun sınıftan seçim yapılır. Bu sınıflar C0, C1, C2, C3, C4, C5, C6 ‘dır. C6 en hassas sınıftır kalıp tezgâhları ve savunma sanayisinde sıkça kullanılır, bu sınıf miller taşlama yöntemi ile üretilir. Kalite sınıfı düşük miller ovalama yöntemi ile üretilir.

Vidalı mil seçiminde şekil 3.8’de yer alan grafikler kullanılır. Bu grafiklerde mil uzunluğunun aksenal yük ile olan ilişkisi ve mil uzunluğunun kritik hız ile olan ilişkisi yer almaktadır.

Vidalı mil somunları ise mil üzerine gelen dairesel hareketi lineer harekete çevirir, uygulama tiplerine göre mil üzerine çift somun takıldığı da görülmektedir.. Çift somunlar yüksek hassasiyet istenen sistemlerde boşluksuz çalışması için kullanılır. Yüksek yüklerde vidalı mil seçilirken somun boyu uzun olan tercih edilir.

Bazı sistemlerde vidalı mil ile somun arasındaki boşluğu almak için somun ön yüklemeli olarak montaj edilir. Ön yüklenmiş vidalı mil somunu daha hassas pozisyonlama sağlar. Ön yükleme değeri maksimum dinamik yük sayısının %10'u olarak üretici kataloglarında yer alır.



Şekil 3.8. Vidalı mil uzunluğuna göre hız ve yük grafiği (Hiwin, 2018)

3.2.3.Servo Motorlar ve Sürücüler

Çok düşük hızlarda bile stabil çalışabilen hız ve tork denetimi yapabilen motorlardır. İşleme merkezindeki eksenlerin hareketlerinde servo motorlar tercih edilir. Bu motorlar değişken hızlarda nominal torklarını koruyabilir ve yüksek hassasiyetle çalışır. Sürücüleri sayesinde istenilen hız, yön ve pozisyon kontrolü yapılabilir. (Arpali, 2023)

Cnc makinelerde step motorlarda tercih edilebilmektedir. Step motorlar servo motorlara göre daha yüksek tork üretebilmekte ve daha hassas konum kontrolü sağlanabilmektedir. Step motorlar adım çalışma yöntemine dayandığı için servo motora göre daha az hassas konum kontrolü sağlar. Bu sebeplerden dolayı çalışma da servo

motor tercih edilmiştir. Şekil 3.9’da örnek servo motor ve sürücü görseli yer almaktadır.



Şekil 3.9. Örnek servo motor (Smb, 2021)

3.2.4. Encoderler

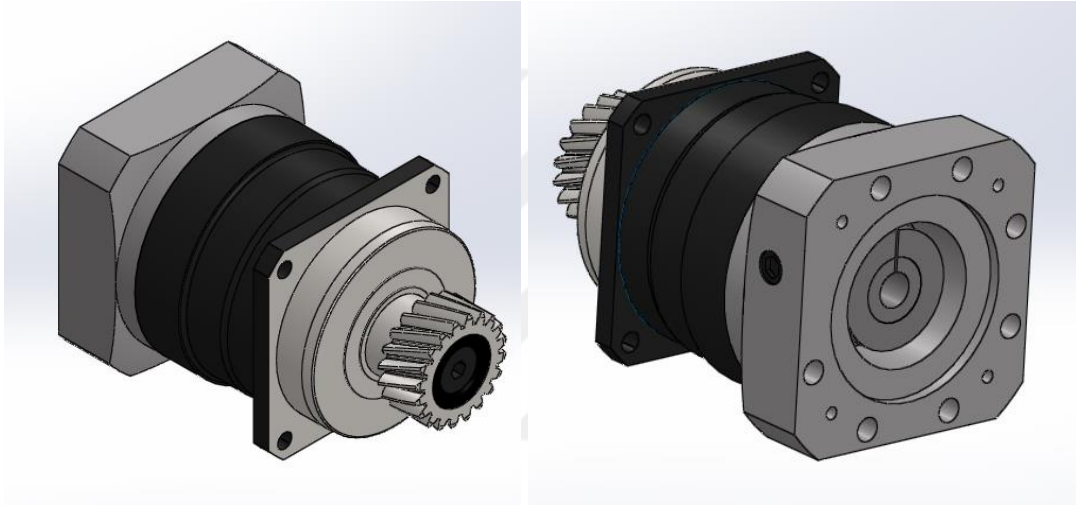
CNC makine tasarımında servo motor seçerken en önemli kriterlerden biri de encoderdir. Encoderler analog ve dijital olarak 2 çeşitte bulunur. Encoderlerin çözünürlüğü arttıkça servo motorların da hassas konumlama özelliği artar. Bu sebeple tezgâh hassasiyetine göre yüksek çözünürlüklü encoderli servo motor seçimi yapılır. Şekil 3.10’da örnek encoder görseli yer almaktadır.



Şekil 3.10. Örnek encoder görseli (Sarı, 2023)

3.2.5. Servo Redüktörler

Servo redüktörler, servo motorlarda kullanılmak üzere üretilmiş çok küçük dişli boşluklara sahiptir. Redüktörlerde dişli boşluğunu ifade etmek için arcmin kullanılır. Dişli üretim yöntemlerine göre boşluk sınıfları vardır. Bu çalışmada 5 arcmin altı redüktör tercih edildi. Redüktörler ile servo motor arasında hassas pozisyonlama istendiği durumlarda kamasız kaplin kullanılır. Redüktörlerin 90 derece ve 180 derece kuvvet ileten tipleri vardır. Şekil 3.11’de planet gövde 180 derece örnek servo redüktör yer almaktadır.



Şekil 3.11. Örnek servo redüktör

3.2.6. Boşluksuz Servo Kaplinler

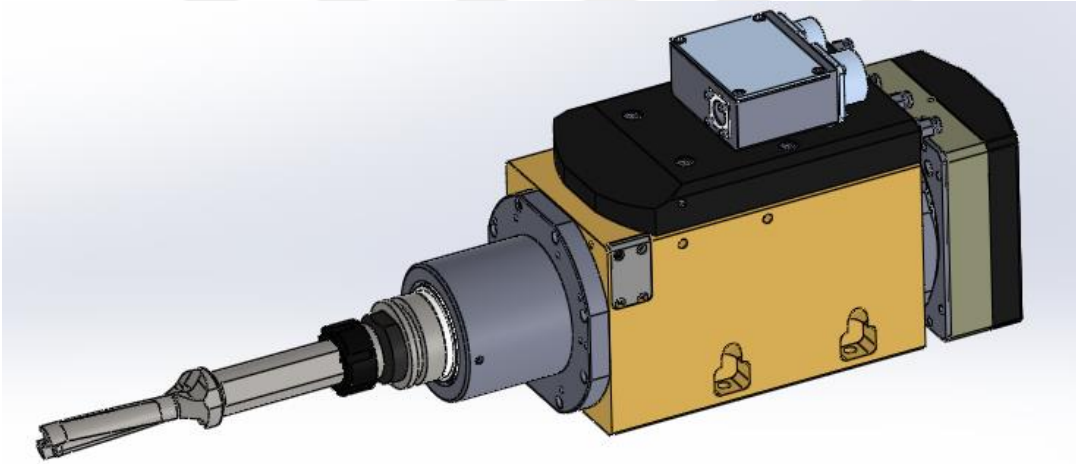
Kaplinler, sistemlerin aşırı yüklenme sırasında ilk zarar görmesi planlanan yerlerdir. Servo sistemler için üretilmiş hassas servo kaplinler mevcuttur, minimum boşluk prensibine göre çalıştığı için genellikle kama kanalı bulunmaz. Yüksek tork taşıyan kaplin sistemlerine kama takılabilir. Kama çelik malzemeden üretilmektedir. Kama kullanılmayan kaplinler mili bir cıvata yardımıyla sıkılarak sürtünme kuvvetini kullanarak hareket iletmektedir. Kaplinin ortasında bulunan kauçuk parça eksen kaçıklıklarını alarak sistemin mil kesmesine engel olmaktadır. Kaplinler ilettiği torklara göre farklı shore değerlerinde kauçuk parça bulunmaktadır. Şekil 3.12’de örnek alüminyum kaplin yer almaktadır.



Şekil 3.12. Örnek boşluksuz servo kaplin

3.2.7.Spindle

İşleme merkezindeki eksenlerin son uç noktalarına spindle takılır. Spindle (3000-20000 RPM gibi) yüksek hızlara çıkabilir, uç kısımlarına takılan takımlar ile delik delme, diş çekme, kanal açma vb. işlemleri yapmak için kullanılır. Şekil 3.13'te tezgâh üzerinde kullanılması planlanan spindle görseli yer almaktadır.



Şekil 3.13. Örnek spindle

3.2.8. Takım Tutucular

Tezgâhlarda spindle ucuna talaş kaldırma takımlarını bağlayabilmek için takım tutucular kullanılır. Takım tutucuların soğutma tiplerine göre içinden boru yağı geçebilen çeşitleri de bulunur. Yapılacak işe ve motor gücüne göre çeşitleri ve büyüklükleri vardır. Şekil 3.14'de örnek takım tutucu görseli yer almaktadır.



Şekil 3.14. Örnek takım tutucu pens (Altın, 2023)

3.2.9 Kontrol Ünitesi

İş parçasının üzerine hangi konumda hangi boyutlarda işlemler yapılacağını kontrol etmek için makine üzerinde kontrol sistemleri bulunur. Bu kontrol sistemleri CAD data üzerinden otomatik G kodu oluşturarak ya da elle kod yazılarak programlanır. Bu G kodları ile eksenlere gerekli hareketleri vererek parçaların işlenmesi sağlanır. Şekil 3.15'te örnek kontrol ünitesi görseli yer almaktadır.



Şekil 3.15. Örnek kontrol paneli (URL-7)

4. HESAPLAMALAR

Tezgâh tasarlanırken en önemli parametrelerden biri de kesme kuvvetinden dolayı eksenlere gelen yüklerdir, bu yüklere göre servo motor, lineer kızak vidalı seçimi yapılır. Standart olarak tezgâh eksen ivmelenmesi=10 m/sn² Boşta eksen hızı 30 m/dk alınmıştır.

4.1. Spindle Seçimi ve Hesabı

Spindle hesabı, bir CNC tezgâhında kullanılacak spindle için gerekli parametreleri belirlemeyi içerir. Bu parametreler genellikle kesme hızı, devir hızı ve kesici takım seçimi gibi unsurları içerir. Spindle hesabını yapmak için genel adımlar aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

4.1.1. Malzeme ve İş Parçası Bilgisi

İşlem yapılacak malzemenin türü ve özellikleri belirlenmelidir. Bu, kesme hızı ve devir hızı hesaplamalarında önemli bir rol oynar. Tasarımı yapılan makinede işlem yapılacak profillerde ham madde olarak kullanılan çelik alaşımları, genellikle sıcak haddelenmiş çelik levhaların işlenmesi ile elde edilir. Bu işlem, çelik levhaların belirli bir şekil ve boyuta getirilmesini içerir, böylece profiller özel uygulamalara uygun hale gelir. Proses genellikle sıcak haddeleme, soğuk şekillendirme veya profilli haddeleme gibi yöntemleri içerebilir, bu da profillerin nihai özelliklerini belirler. Genellikle St44 veya St52 çelikten üretilmektedir.

4.1.2. Kesici Takım Seçimi

Malzeme ve işlemin gereksinimlerine uygun bir kesici takım seçilmelidir. Ağır seri profillerin talaş kaldırma işlemlerinde sıklıkla karbür uçlu frezeler kullanılır. Bu frezeler, karbür malzemeden yapılmış kesici uçlara sahiptir ve genellikle sert metalleri işlemek için uygundur. Keskin kenarları ve dayanıklılıkları nedeniyle H profiller gibi yapısal çelikleri işlemek için tercih edilebilirler.

4.1.3. Tork Hesaplaması

Spindle üzerindeki tork, iş parçası üzerindeki kesici takımın malzemeyi işlemesi için

gerekli olan dönme kuvvetini ifade eder. Tork (T) formülü denklem (4.1)'de gösterilmiştir.

$$T = \frac{P}{N} \quad (4.1)$$

Bu formülde, T spindle torkunu, P iş gücünü (kesme kuvveti ve kesme hızının çarpımı) ve N ise devir sayısını temsil eder. Bu formüller, hesaplama sürecini basitleştirmek için genel bir yaklaşım sunar. Ancak, kesme kuvveti, kesme hızı ve devir sayısı gibi faktörler uygulama ve işlenen malzeme özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Kesici takımın ve malzemenin özelliklerine göre daha spesifik hesaplamalar yapmak için genellikle spindle üreticisinin tavsiyelerine başvurmak en iyisidir.

4.1.4. Kesme Kuvveti

Kesme kuvveti, bir CNC tezgâhında işleme yapılan malzemenin kesilmesi sırasında uygulanan kuvveti ifade eder. Kesme kuvveti; iş parçasının malzemesi, kesici takımın özellikleri ve işleme koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Kesme kuvvetini hesaplamak için kullanılan temel formüllerden biri denklem (4.2)'de gösterilmektedir.

$$F_c = K_c \times b \times d \times n \quad (4.2)$$

Bu formülde:

F_c , kesme kuvvetini,

K_c , kesme kuvveti katsayısını (kesici takım ve malzeme özelliklerine bağlı bir sabittir),

b, kesici takımın genişliğini,

d, kesme derinliğini, ve

n, devir sayısını temsil eder.

Kesme kuvveti hesaplamak için doğru kesme kuvveti katsayısını bulmak önemlidir. Bu katsayı, kullanılan kesici takımın ve işlenen malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Kesici takım ve malzeme kombinasyonları için özel kesme kuvveti katsayıları genellikle üretici tarafından sağlanır veya literatürde bulunabilir. Tablo 4.1'de kesme hızı tablosu yer almaktadır.

Tablo 4.1. Sert metal plaketsli freze bıçakları için ilerleme değeri ve kesme hızları (Akkurt, 1985)

Parça Malzemesi	İşleme Tarzı	S _z (mm/diş)	V (m/dak)	Takım Açıları				Sert Metal
				α	γ	γ _r	λ	
St 50-St 60 C 35-C45	Kaba	0.2 - 0.5	100 180	8-12	5-10	-4	-8	P 25'ten K 40'a kadar.
	İnce	0.1-0.2	120 200					
St 70-St 85 ve az alaşımlı çelikler	Kaba	0.2-0.5	70-140	8-12	5-10	-10	-8	
	İnce	0.1-0.2	90-180					
Yüksek alaşımlı çelikler	Kaba	0.2-0.4	50-100	8-10	5	-10	-8	
	İnce	0.1-0.2	70-120					
GS45-GS 52	Kaba	0.2-0.4	60-100	8-10	5-10	-10	-8	
	İnce	0.1-0.2	70-120					
GG25- GG30	Kaba	0.2-0.5	60-120	8-12	0-8	-4	-8	
	İnce	0.2-0.3	80-140					
Ms58- Ms63	Kaba	0.2-0.4	80-140	8-10	10-12	0	-8	
	İnce	0.1-0.3	90-150					
Al Alaşım (9-13%Si) G-AlSi	Kaba	0.1-0.6	40 600	8-12	12-20	0 +15'e kadar	-4 +4'e kadar	

V = 150 m/dak (Kaba talaş ve St 52 Alaşımları için olan değeri)

S_z = 0,3 mm/diş (Kaba talaş ve St 52 Alaşımları için olan değeri)

D = Ø40 mm (Takım çapı)

Z = 5 (Takımın diş sayısı)

χ = 90° (Yerleştirme açısı)

B = 10 mm (Yana kayma değeri)

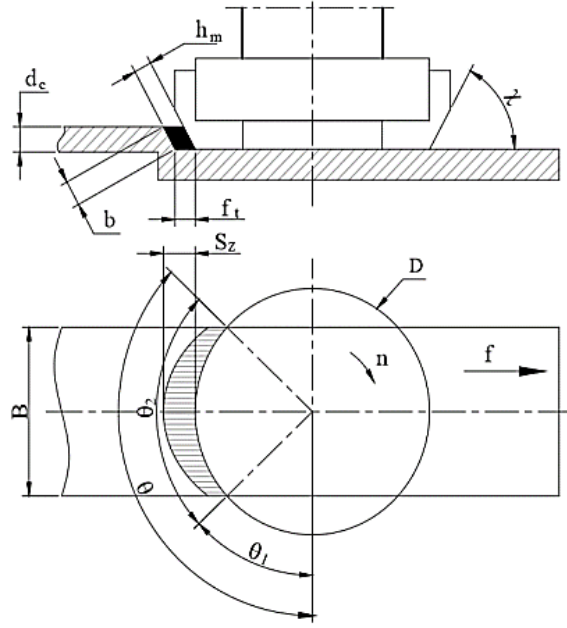
a_p = 6 mm (Paso derinliği)

Denklem (4.3)'te devir sayısı hesabı gösterilmiştir.

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} \quad (4.3)$$

$$n = (1000 \times 150) / (\pi \times 40) \quad [d / dak]$$

$$n = 1194,26 \quad [d / dak]$$



Şekil 4.1. Takım boyutları gösterimi (Akkurt, 1985)

Şekil 4.1’de takım boyutu şematik gösterimi yer almaktadır. Denklem (4.4)’te kavrama giriş açısı ve çıkış açısı farkı gösterilmiştir. Denklem (4.5) ve (4.6)’da kavrama açısının kosinüs değerleri yer almaktadır. Denklem (4.7)’de kavrama açısı hesabı gösterilmiştir.

$$\varphi_s = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (4.4)$$

φ_1 = Kavramaya giriş açısı

φ_2 = Kavramadan çıkış açısı

$$\cos \varphi_1 = \frac{(D/2) - A_1}{D/2} \quad (4.5)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{(D/2) - A_2}{D/2} \quad (4.6)$$

$\varphi_1 = 0$ $A_1 = 0$ olduğu durumda;

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_s = 1 - 2 \times \frac{B}{D} \quad (4.7)$$

$B = 10$ mm (yana kayma değeri), $D = 40$ mm değerlerini yerine koyarsak

$$\cos \varphi_2 = \cos \varphi_s = 1 - (2 \times 10 / 40) = 0,5$$

$\varphi_s = 60^\circ$ olur.

4.1.5. Kesme Hızı ve İlerleme

Kesme hızı, kesici takımın malzeme üzerindeki hızını ifade eder.

$V = 150$ m/dak (Tablo 4.1) (Kaba talaş ve St 52 için olan değer)

$S_z = 0,3$ mm/diş (Tablo 4.1) (Kaba talaş ve St 52 için olan değer) değeri seçilmiştir.

V kesme hızına karşılık gelen devir sayısı da $n = 1194,26$ d / dk olarak hesaplanmıştır.

Takım diş sayısı $z = 5$ alınmıştır. Denklem (4.8)'de ilerleme hızı gösterilmiştir.

$$u = S_z \times z \times n \quad (4.8)$$

$$u = 0,3 \times 5 \times 1194,26 \text{ [mm / dak]}$$

$$u = 1791,39 \text{ mm / dak}$$

4.1.6. Talaş Boyutları

Asimetrik frezelemede talaş kalınlığı denklem (4.9)'da gösterilmiştir.

$$h_m = \frac{180}{\pi \times \varphi_s} \times S_z \times \sin \gamma \times (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (4.9)$$

$$h_m = (180 / (\pi \times 60^\circ)) \times 0,3 \times 1 \times (1 - (0,5)) \text{ [mm]}$$

$$h_m = 0,143 \text{ mm}$$

$$b = a_p / \sin \chi \text{ [mm] (Talaş genişliği)}$$

$$a_p = 6 \text{ mm (kesme derinliği)}$$

$$b = 6 / 1 \text{ [mm]}$$

$$b = 6 \text{ mm bulunur.}$$

Denklem (4.10)'da ortalama talaş kesiti gösterilmiştir.

$$A_s = b \times h_m \quad (4.10)$$

$$A_s = 6 \times 0,143 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_s = 0,858 \text{ mm}^2$$

4.1.7. Kesme kuvvetleri

Bir dişe karşılık gelen kesme kuvveti denklem (4.11)'de gösterilmiştir.

$$F_{S_z} = A_s \times k_s \quad (4.11)$$

$k_s = 4800 \text{ N / mm}^2$ (Tablo 4.2'deki en yüksek K_s değerine sahip malzeme seçilmiştir)

$$F_{S_z} = 0,85 \times 4800 \text{ [N]}$$

$$F_{S_z} = 4080 \text{ N}$$

Denklem (4.12)'de çalışma sırasında beraber temas eden diş miktarı gösterilmiştir.

$$z_e = \frac{z \times \varphi_s}{360^\circ} \quad (4.12)$$

$$z_e = 5 \times 60 / 360^\circ \text{ [diş]}$$

$$z_e = 0,83 \text{ diş}$$

Tezgâha karşı gelen kesme kuvveti denklem (4.13)'te gösterilmiştir.

$$F_s = z_e \times F_{S_z} \quad (4.13)$$

$$F_s = 0,83 \times 4080 = 3400 \text{ N}$$

Tablo 4.2. k_s değer tablosu (Akkurt, 1985)

İşlenecek Malzeme	$K_s \text{ [N/mm}^2\text{]}$
St 60	1600
St 70	1900
İslah Çelikleri ($\sigma_k < 100 \text{ N/mm}$)	1350
İslah Çelikleri ($\sigma_k < 1400 \text{ N/mm}$)	3500
Cr-Ni Çelikleri	3000
Mn Çelikleri	4800
Dökme Çelik	1500
Dökme Demir	2000
Al-Cu-Mg Alaşım	800

4.1.8. Spindle Gücü Hesabı

Spindle gücü denklem (4.14)'te gösterilmiştir. Bu denkleme göre hesaplamalar yapılmıştır.

$$P_s = \frac{F_s \times V}{60 \times 1000} \quad (4.14)$$

$$F_s = 3400 \text{ N}$$

$$V = 150 \text{ m / dak}$$

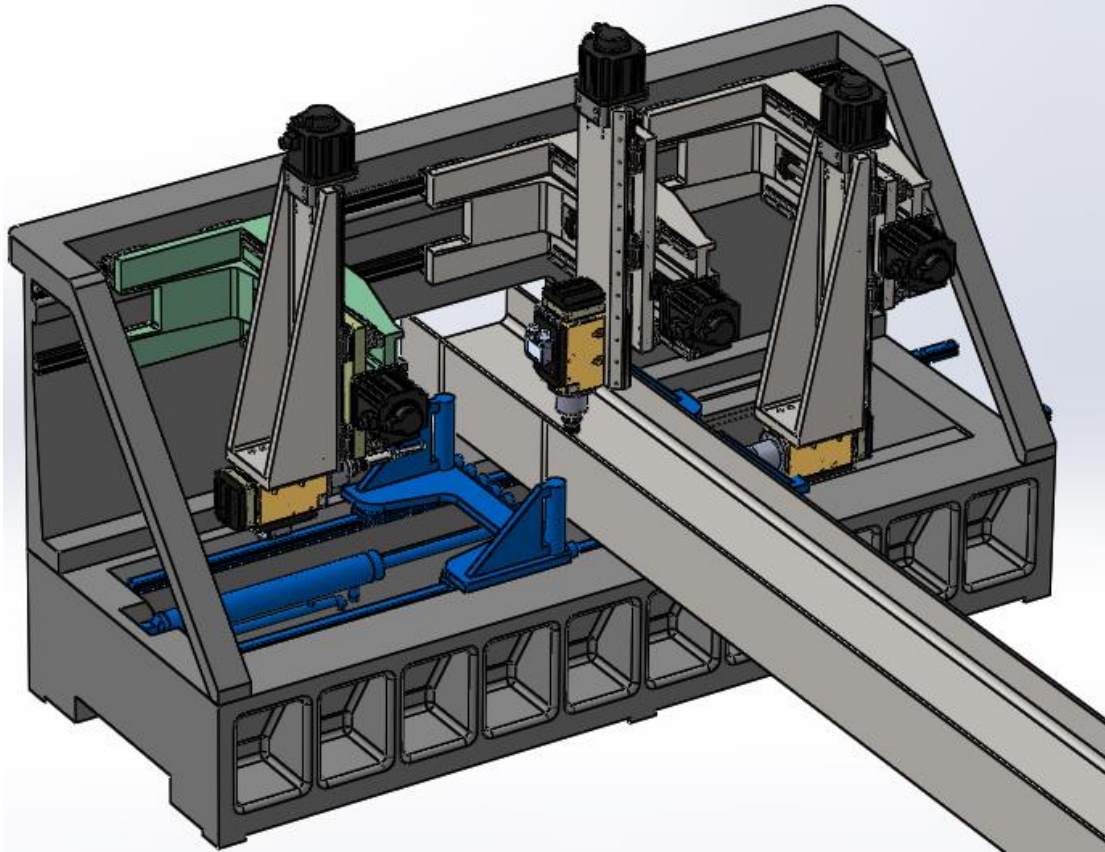
$$P_s = (3400 \times 150) / (60 \times 1000) [\text{kW}]$$

$$P_s = 8,5 \text{ Kw}$$

Güvenlik katsayısı 2,5 seçilip 22 Kw spindle kullanılmıştır.

4.2. Hidrolik Mengene Hesabı

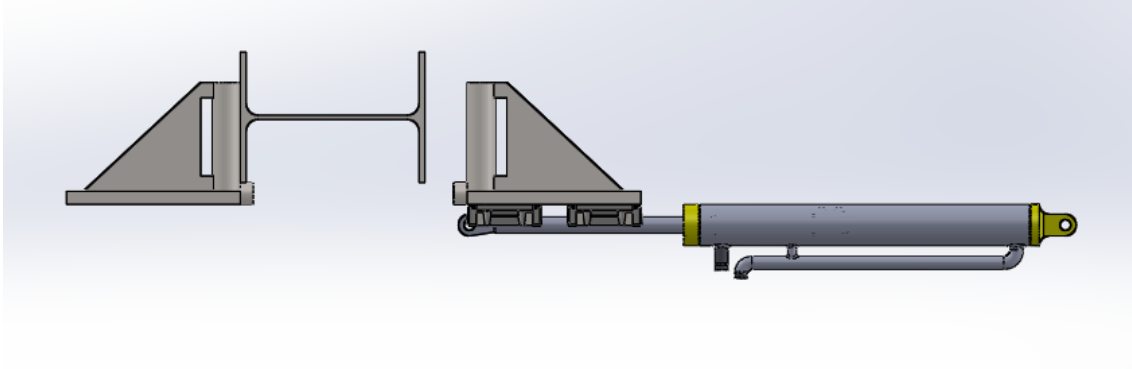
Ağır seri profiller 3 eksen tarafından işlenirken profiller 4 noktadan çizgisel olarak 50kN kuvvetle hidrolik mengene tarafından sabit tutulur. Bu 50 kN değeri standart CNC tezgâhlarda kullanılan mengenerlerin basma kuvvetidir. Bu değer baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 4.2’de hidrolik mengene sistemi makine üzerinde mavi renk ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Hidrolik mengenenin makine üzerinde gösterimi

Hidrolik mengene sisteminde sistemin bir tarafı makine üzerinde sabit dururken diğer tarafı lineer arabalar üzerinde yatay hareket etmektedir. Lineer arabalar üzerinde hareket eden sistem hidrolik pistondan kuvvet almaktadır. Hidrolik piston stroğu 800mm’dir. CNC tezgâh üzerine konulacak hidrolik ünite 100 bar basınç verecek şekilde seçilmiştir.

Mengene 80 bar basınçta çalışacak şekilde hesap yapılmıştır. Şekil 4.3'te mengene sisteminin şematik gösterimi yer almaktadır. Denklem (4.15)'te piston kuvveti gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Hidrolik mengene şematik gösterimi

$$F = P \times A \quad (4.15)$$

F=Piston kuvveti (Kg)

P=Hidrolik basıncı(bar)

A=Piston yüzey alanı(cm²)

$$5000=80 \times A$$

$$A=62,5 \text{ cm}^2$$

Kuvvet için gerekli alan formülden hesaplandıktan sonra, piston milinin basma yüzeyinin çapı denklem (4.16) ile hesaplanmıştır.

$$A = \pi \times r^2 \quad (4.16)$$

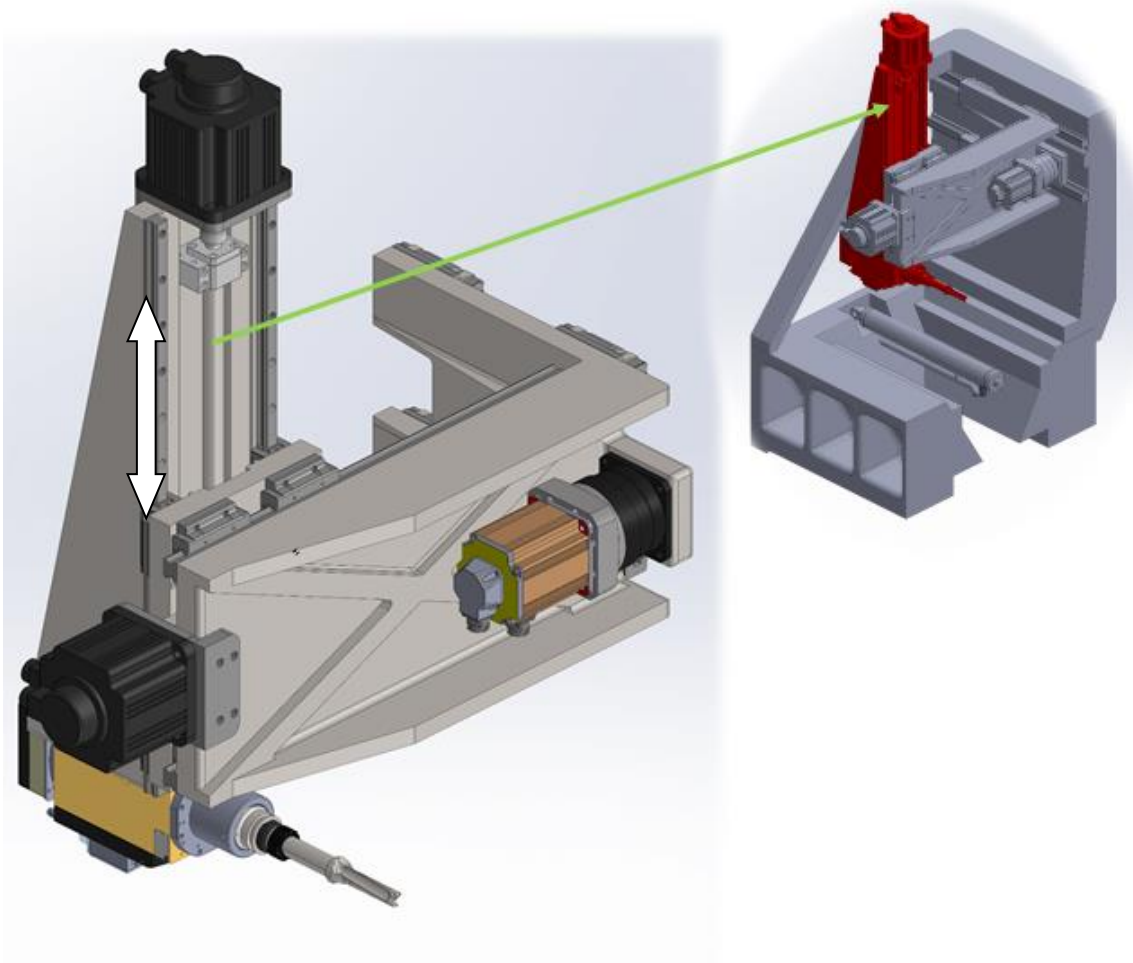
$$62,5=3,14 \times r^2$$

$$r = 4,46 \text{ cm}$$

D=90mm çaplı hidrolik piston seçimi yapılmıştır. Bu değer pistonun itme sırasında yağ ile temas eden çaptır. Hidrolik pistonun çekme kuvveti basma kuvvetinden düşük olmaktadır. Piston geri dönerken boşta döneceği için bu değer hesaplanmamıştır.

4.3. Z Eksen

Z eksen, spindle bağı olan eksendir. Bu eksen aşağı yukarı yönde hareket eder. Sabitlemeleri lineer arabalardan alır. Aşağı yukarı yönde hareket için vidalı mil kullanılmıştır. Motorun hareket ettirdiği kütle 250 kg'dır. Bu değer solidworks uygulaması ile hesaplandı. Eksen hızının 30 m/dk olması için Servo motor 3000 d/dak' da dönünce vidalı mil adımı 10mm olması gerekir. Bu hatvedeki vidalı mil istenilen hızda eksen hareket ettirebilecektir. Şekil 4.4'te Z ekseninin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.4. Z eksen izometrik görünüşü

4.3.1. Vidalı Mil Seçimi

250 kg yük taşıyacak, 1 metre boyunda, 3000 d/dak hızda dönecek vidalı mili şekil 3.8'den seçtiğimiz zaman 25-10 (çap Ø25 adım 10) olur.

4.3.2. Motor Seçimi

Motor seçimi aşağıdaki formül sonucuna göre çıkan değer ile tedarikçi firmaların kataloğundan seçilir. Eksenel kuvvet denklem (4.17) ile bulunmaktadır. Somun çevirme kuvveti ise denklem (4.18) ile bulunmaktadır. Somun çevirme momenti hesabında denklem (4.19) kullanılmıştır.

F_t =somun çevirme kuvveti

h =vidalı mil hatvesi

$F_{\bar{o}}$ =eksenel kuvvet

d =vidalı mil çapı

M_a =eylemsizlik kuvveti

M_g =yer çekimi kuvveti

F_s = tezgâha gelen işleme sırasında talaş kaldırma kuvveti

$$F_{\bar{o}} = M_a + M_g + F_s \quad (4.17)$$

$$=250 \times 9,8 + 250 \times 10 + 3400=8400\text{N}$$

$$F_t = \frac{h \times F_{\bar{o}}}{\pi \times d} \quad (4.18)$$

$$= \frac{10 \times 8400}{3,14 \times 20}$$

$$=1336,9 \text{ N}$$

M_s =Somunun çevirme momenti

$$M_s = \frac{F_t \times d}{2} \quad (4.19)$$

$$= \frac{1336,9 \times 20}{2}$$

$$=13369,01 \text{ Nmm} =13,3\text{Nm}$$

Güvenlik katsayısını 1,5 seçtiğimiz zaman ihtiyacımız olan tork değeri 20 Nm olur. Motor seçimi üretici kataloğundan tork ve hız değerine uygun olarak seçilir.

4.3.3. Lineer Araba Seçimi

Z eksenini çalışırken lineer arabalara gelen yük, boşta ivmelenme veya talaş kaldırırken gelmektedir. 250 kg ağırlığındaki eksenin boşta maksimum ivmelenme anında 2500N kuvvet etki eder. Talaş kaldırma kuvveti ise 3400 N'dur. Hesaplama yüksek olan kuvvet seçilir. Z eksenini en alt noktada iken lineer arabalar ile spindle arasında 1 metre mesafe vardır. Lineer arabalara gelen moment denklem (4.20) ile hesaplanır.

$$M = F \times r \quad (4.20)$$

M =Lineer arabaya gelen moment

F = Lineer araba üzerindeki kuvvet

r = kesici takım ile lineer araba arasındaki moment yapacak kuvvet uzunluğu

$M = 3400 \times 1,04 = 3536 \text{ Nm}$ 'dir.

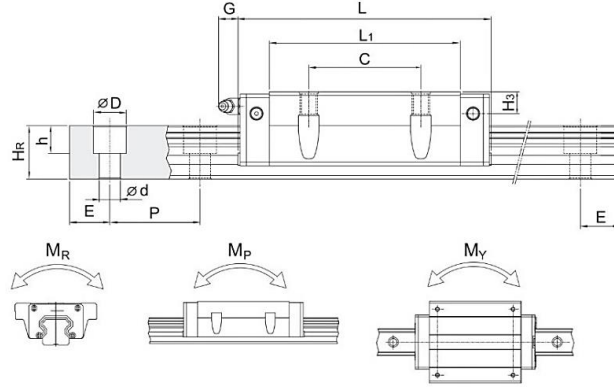
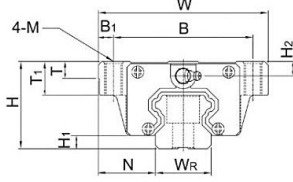
Araba üzerine gelen en yüksek değer 3536 Nm olduğu için katalog üzerinden bu değere göre seçim yapılır.

4 araba kullanılmıştı, her arabaya 0,84 kNm moment gelir. Bu değerler göz önünde bulundurularak katalogdan HGW35 CC lineer arabalar seçilir.

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra sonuca göre katalogdan uygun lineer kızak ve araba seçimi yapılır. Şekil 4.5'te Hiwin markasına ait katalog görüntüsü bulunuyor. Şekil 4.6'da Z ekseninin yandan görünüşü yer almaktadır. Bu görünüş üzerinde moment hesabı için gerekli ölçü eklenmiştir.

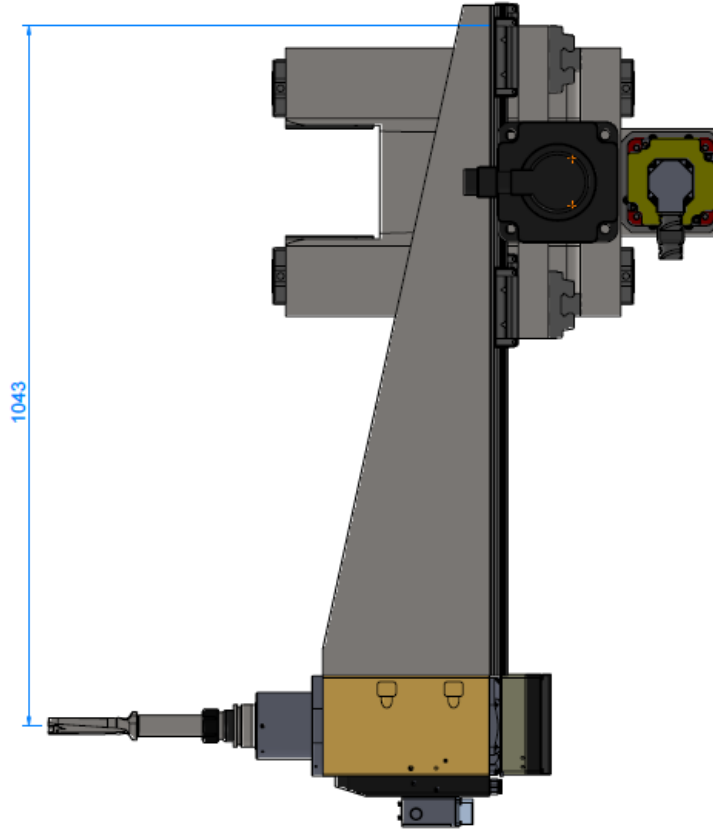
HG serisi

(4) HGW-CC / HGW-HC
Standart geniş seri



Model No.	Montaj boyutları (mm)			Blok boyutları (mm)														Ray boyutları (mm)										Ray için montaj cıvatası	Temel dinamik yük derecesi	Temel statik yük derecesi	Statik dereceli Moment			Ağırlık	
																															M _R	M _P	M _Y	Blok	Ray
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	K ₁	K ₂	G	M	T	H ₂	H ₃	W _R	H _R	D	d	P	E	(mm)	C ₁ (kN)	C ₂ (kN)	kN-m	kN-m	kN-m	kg	kg/m					
HGW 15CC	24	4.3	16	47	38	4.5	30	39.4	61.4	8	4.85	5.3	M5	6	8.9	3.95	3.7	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	11.38	16.97	0.12	0.10	0.10	0.17	1.45			
HGW 20CC	30	4.6	21.5	63	53	5	40	50.5	77.5	10.25	6	12	M6	8	10	6	7	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	17.75	27.76	0.27	0.20	0.20	0.40	2.21			
HGW 20HC								65.2	92.2	17.6																12	M8	8	14	6	9		23	22	11
HGW 25CC	36	5.5	23.5	70	57	6.5	45	58	84	11.8	6	12	M8	8	14	6	9	23	22	11	9	7	60	20	M6x20	26.48	36.49	0.42	0.33	0.33	0.59	3.21			
HGW 25HC								78.6	104.6	22.1																12	M10	8.5	16	6.5	10.8		28	26	14
HGW 30CC	42	6	31	90	72	9	52	70	97.4	14.25	6	12	M10	8.5	16	6.5	10.8	28	26	14	12	9	80	20	M8x25	38.74	52.19	0.66	0.53	0.53	1.09	4.47			
HGW 30HC								93	120.4	25.75																12	M10	10.1	18	9	12.6		34	29	14
HGW 35CC	48	7.5	33	100	82	9	62	80	112.4	14.6	7	12	M10	10.1	18	9	12.6	34	29	14	12	9	80	20	M8x25	49.52	69.16	1.16	0.81	0.81	1.56	6.30			
HGW 35HC								105.8	138.2	27.5																12	M10	10.1	18	9	12.6		34	29	14

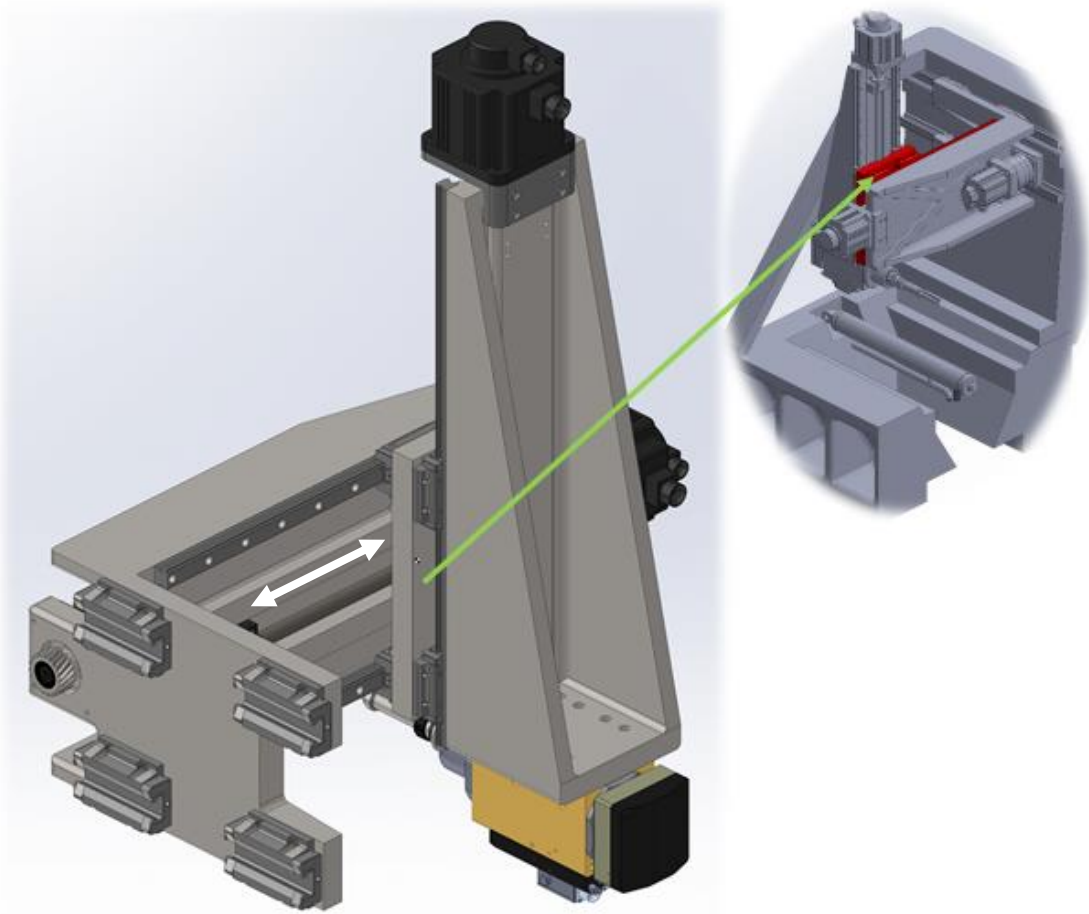
Şekil 4.5. Lineer araba katalog görüntüsü (Hiwin, 2019)



Şekil 4.6. Z eksen yandan görünüşü

4.4. Y Eksen

Y eksen sistemin kısa strokta yatak hareket ettiği sistemdir. Y¼kler, lineer arabalar ile sağlanmakta yatak hareket i¼in vidalı mil kullanılmaktadır. Motorun hareket ettirdiği k¼tle 320 kg'dır. Bu değer solidworks uygulaması ile hesaplandı. Eksen hızının 30 m/dk olması i¼in Servo motor 3000 d/dak da d¼n¼nce vidalı mil adımı 10mm olması gerekir. Bu hatvedeki vidalı mil istenilen hızda eksen hareket ettirebilecektir. Şekil 4.7'de Y ekseninin izometrik g¼r¼n¼ř¼ yer almaktadır.



Şekil 4.7. Y eksen izometrik g¼r¼n¼ř¼

4.4.1. Vidalı Mil Se¼imi

320 kg y¼k taşıyacak, 0,6 metre boyunda, 3000 d/dak hızda d¼necek vidalı mil, yukarıdaki Şekil 3.8'den se¼tiđimiz zaman 25-10 (¼ap Ø25 adım 10) olur.

4.4.2. Motor Seçimi

Motor seçimi aşağıdaki formül sonucuna göre çıkan değer ile satıcı firmaların kataloğundan seçilir. Eksenel kuvvet denklem (4.21) ile bulunmaktadır. Somun çevirme kuvveti ise denklem (4.22) ile bulunmaktadır. Somun çevirme momenti hesabında denklem (4.23) kullanılmıştır.

F_t =somun çevirme kuvveti

h =vidalı mil hatvesi

F_o =eksenel kuvvet

d =vidalı mil çapı

M_a =eylemsizlik kuvveti

M_g =yer çekimi kuvveti

F_s = tezgâha gelen işleme sırasında talaş kaldırma kuvveti

$$F_o = M_a + F_s \quad (4.21)$$

$$=320.10 +3400=6600N$$

$$F_t = \frac{h \times F_o}{\pi \times d} \quad (4.22)$$

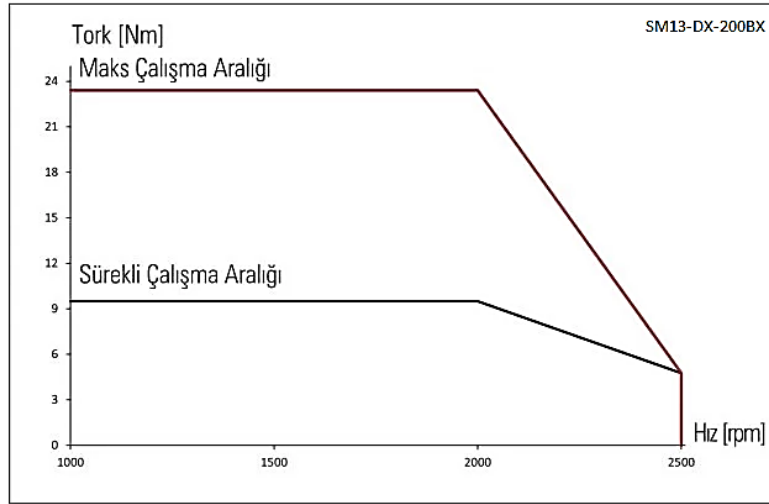
$$= \frac{10 \times 6600}{\pi \times 20}$$

$$=1050.42 N$$

M_s =Somunun çevirme momenti

$$M_s = \frac{F_t \times d}{2} \quad (4.23)$$
$$= \frac{1050.42 \times 20}{2}$$
$$=10504.2 Nmm=10.5Nm$$

Güvenlik katsayısını 1,5 seçtiğimiz zaman ihtiyacımız olan tork değeri 15,75 Nm olur. Motor seçimi üretici kataloğundan tork değerine ve hız değerine uygun olarak seçilir. Şekil 4.8’de örnek servo motor katalog görüntüsü yer almaktadır.



PARAMETRELER / PARAMETERS	BİRİM / UNIT	SM13-DX-100BX	SM13-DX-150BX	SM13-DX-200BX
DC Bara Gerilimi / DC Bus Voltage	V	310	310	310
Anma Gücü / Rated Power	W	1000	1500	2000
Anma Momenti / Rated Moment	Nm	4,77	7,16	9,55
Anma Akımı / Rated Current	A	5,50	8,00	10,80
Anma Hızı / Rated Speed	rpm	2000	2000	2000
Maks. Moment / Max Moment	Nm	11,80	18,60	23,40
Maks. Akım / Max Current	A	16,50	24,00	31,80
Maks. Hızı / Max Speed	rpm	2500	2500	2500
Verim / Efficiency	%	92,00	93,50	92,50

Şekil 4.8. Örnek servo motor kataloğu (Smb, 2021)

4.4.3. Lineer Araba Seçimi

Y ekseninde 320 kg yük vardır.

Arabalara gelen ağırlıktan dolayı moment denklem (4.24) ile, talaş kaldırmak için gerekli kuvvet uygulandığında, gelen moment ise denklem (4.25) ile hesaplanmıştır.

$$M_1 = (M_a + M_g) \times r_1 \quad (4.24)$$

$$M_2 = F_s \times r_2 \quad (4.25)$$

$$M_1 = (320 \times 10 + 320 \times 10) \times 0,235 = 1504 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 3400 \times 1,04 = 3536 \text{ Nm}$$

M = Lineer arabaya gelen moment

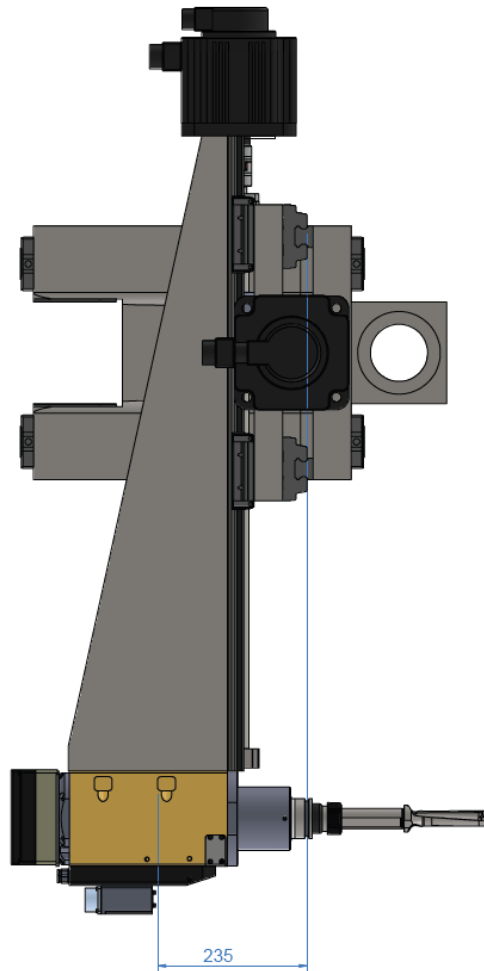
F = Lineer araba üzerindeki kuvvet

r_1 = lineer araba ile ağırlık merkezi arasındaki moment mesafesi

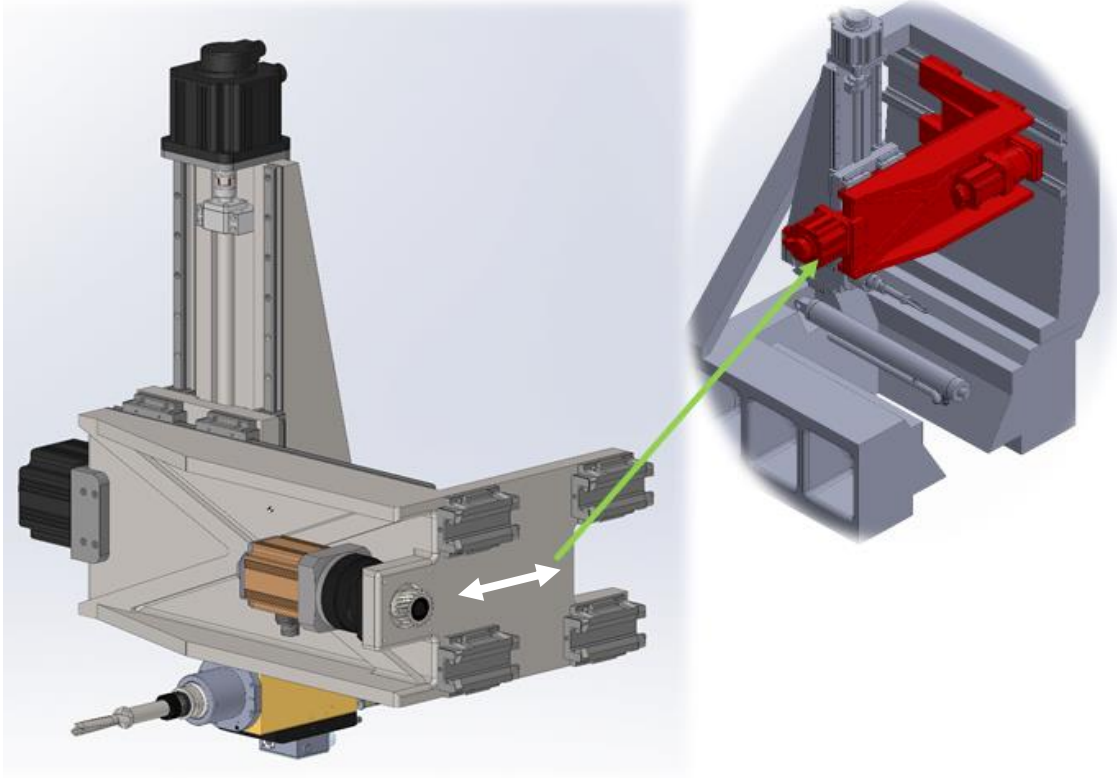
r_2 = kesici takım ile lineer araba arasındaki moment yapacak kuvvet uzunluğu

M_2 Momenti M_1 momentine göre büyük olduğu için bu değere göre lineer araba seçimi

yapılır. 4 araba kullanılmıştı ve her arabaya 0,88 kNm moment gelir. Bu değerler göz önünde bulundurularak katalogdan HGW30 HC lineer arabalar seçilir. Şekil 4.9'da Y ekseninin yandan görüntüsü yer almaktadır.



4.5. X Eksenini



Şekil 4.10. X eksen izometrik görünüşü

4.5.1. Kremayer Seçimi

3 istasyonun da üzerinde hareket edeceği modül 3 kremayer, 20 diş pinyon seçildi. Motor hesabına göre gerekli tork değeri katalog üzerinden kontrol edildi ve modül 3 dişli ve kremayer seçildi. Pinyon dişli sayısı belirlenirken, eksen hızı ve motor hızı göz önünde bulundurularak seçildi.

4.5.2. Motor Seçimi

X eksen hareketi servo motor seçimi denklem (4.26)'daki hesaplamalara göre seçilmektedir. Eksen hareketi için gerekli tork denklem (4.27)'den, talaş kaldırmak için gerekli tork denklem (4.28)'den yapılmıştır.

F =yatayda hareket için gerekli kuvvet

M =eksen ağırlığı

a =ivme

$$F = M \times a \quad (4.26)$$

$$=700 \times 10=7000N$$

Modül 3, diş sayısı 20 olan pinyonun bölüm dairesi yarıçapı 30mm'dir.

T_1 = eksen hareketi için gerekli motor torku

T_2 = talaş kaldırmak için gerekli motor torku

r = dişli yarı çapı

$$T_1 = F \times r \quad (4.27)$$

$$=7000 \times 0,03=210Nm$$

Talaş kaldırma sırasında motora gelen kuvvet hesabı için, talaş kaldırma kuvveti (F_s) değeri hesaba dâhil edilir.

$$F_s = 3400N$$

$$T_2 = F_s \times r \quad (4.28)$$

$$=3400 \times 0,03=102Nm$$

Büyük olan değer motor seçimi için kullanılır. Motorun önüne $i=1:10$ servo redüktör seçildi. Güvenlik katsayısı 1,3 seçilince motordan beklenen tork 27,3 Nm'dir. Bu tork değerine uygun motor üretici kataloğundan seçilir.

4.5.3. Lineer Araba Seçimi

X ekseninde 700 kg yük vardır. Denklem (4.29) ile lineer arabalara gelen moment hesaplanmıştır.

Z ekseninde en uzak noktada iken ağırlık merkezi ile arabalar arası mesafe 597mm'dir.

M = Arabalara gelen moment

m_1 =X eksen kütlesi

m_2 =Y eksen kütlesi

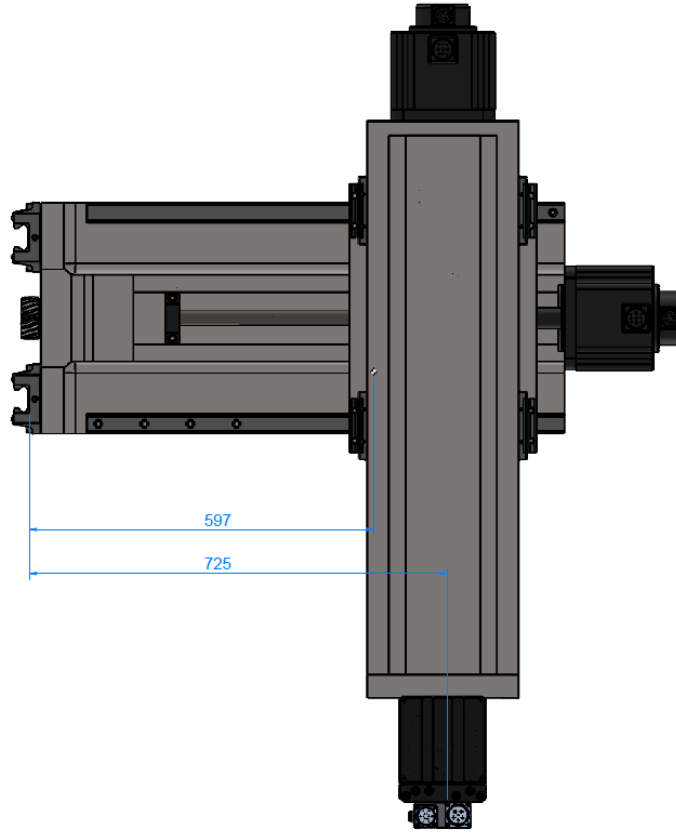
$$M = m_1 \times a + m_2 \times a \quad (4.29)$$

$$M = (700 \times 10+320 \times 10) \times 0,59=5980N$$

4 araba kullanılmıştı her arabaya 1,5 kNm moment gelir.

Bu değerler göz önünde bulundurularak katalogdan HGW45 HC lineer arabalar seçilir.

Şekil 4.11'de X eksen yandan görünüşü yer almaktadır.



Şekil 4.11. X eksenî yandan görünüşü

5. ANALİZLER

Statik analiz hareketsiz veya ivmesiz sistemlerin dengesini inceleyen bilim dalıdır. Solidworks (sürüm 2019) programında; statik analiz sonucunda gerilim, yer değiştirme ve gerinim olmak üzere 3 sonuç açığa çıkar. Bu bölümde solidworks programı ile nasıl analiz yapılacağı anlatılmıştır, ardından analiz sonuçlarına değinilmiştir.

Model üzerinde ham maddeleri tanımlanmış olan 3d tasarımın, önce sabitlenecek yüzeyleri belirtilir ardından kuvvetin geldiği yerler ve kuvvetin miktarı belirtilir. Daha sonra modele mesh işlemi tanımlanır. Mesh işleminde tüm parçalar katı olarak davrandırılıp hacim merkezli mesh oluşturulur. Meshleme işlemi sonlu elaman analizi için çok önemli bir işlemdir. Solidworks programı otomatik mesh yapma kabiliyetine sahiptir. Programda öncelikle “otomatik mesh oluştur” komutu kullanılır, ardından gerilmelerin fazla olacağının düşünüldüğü yerlere “mesh kontrol” komutu ile daha küçük boyutlu meshler oluşturulur. Fazla yükün gelmediği ve büyük hacimli parçalara, daha büyük boyutlu meshler uygulayarak analizin daha hızlı sonuçlanması sağlanır.

5.1.Mesh Tipleri

5.1.1.Standart Mesh

Meshleme işlemleri için Voronoi-Delaunay meshleme şemasını etkinleştirir.

5.1.2.Eğrilik Tabanlı Mesh

Eğrilik tabanlı meshleme şemasını etkinleştirmek, meshleme işlemleri için kullanılır. Bu yöntem, yüksek eğrilikli alanlarda otomatik olarak daha fazla eleman oluşturur ve ek bir mesh kontrolüne gerek kalmaz. (URL-8)

Eğrilik tabanlı mesheleme yöntemi, montaj ve çok parçalı modeller için karmaşık parçacıklı yüzey ve hacim meshlemeyi destekler. Standart mesheleme yöntemi ise sadece çok parçalı hacim meshlemeyi destekler. (URL-8)

5.1.3.Karışık Eğrilik Tabanlı Mesh

Standart veya eğrilik tabanlı mesh ile mesh oluşturulamayan modeller için Karışık

eğrilik tabanlı mesh kullanılabilir. Karışık eğrilik tabanlı mesh, yüzey ve hacim mesh oluşturmak için tek bir merkezi işlemci biriminde (CPU) çalışır ve bu da mesh oluşturma sürecini yavaşlatabilir. (URL-8)

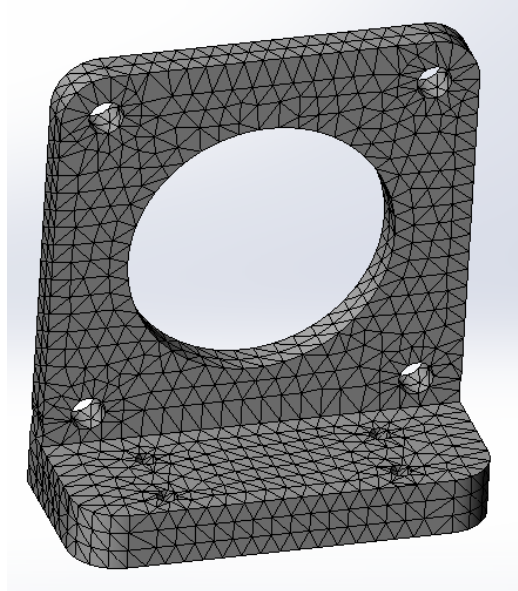
Karışık eğrilik tabanlı mesh, standart veya eğrilik tabanlı mesh'e göre daha yüksek kalitede öğelerle (daha düşük en-boy oranları) katı bir mesh oluşturarak, mesh hatalarıyla başa çıkabilir. Ayrıca, Karışık eğrilik tabanlı meshleyici, h-uyumlu ve p-uyumlu yöntemleri destekler. (URL-8)

5.1.4.Maksimum Eleman Boyutu

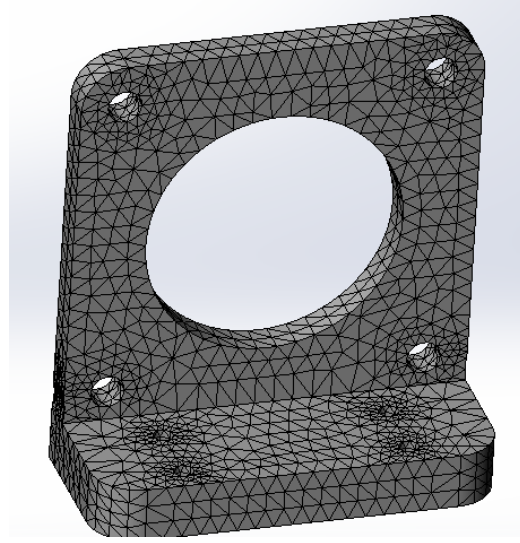
Sadece eğrilik tabanlı mesh seçenekleri için geçerlidir. Maksimum eleman boyutu, en düşük eğriliğe sahip sınırlar için belirlenir. (URL-8)

5.1.5.Minimum Eleman Boyutu

Sadece eğrilik tabanlı mesh seçenekleri için geçerlidir. Minimum eleman boyutu, en yüksek eğriliğe sahip sınırlar için belirlenir. Şekil 5.1'de otomatik geçiş kaldırıldığında oluşan mesh görüntüsü yer almaktadır. Şekil 5.2'de otomatik geçiş işaretlendiğinde oluşan mesh görüntüsü yer almaktadır.



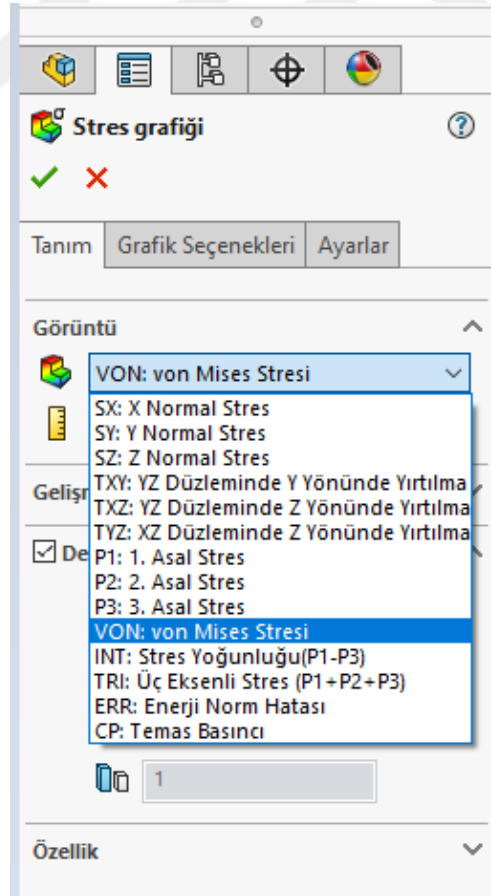
Şekil 5.1. Otomatik geçiş işareti kaldırıldığında mesh



Şekil 5.2. Otomatik geçiş işaretlendiğinde mesh

5.2.Von Mises Gerilmesi

Solidworks programında analiz yapılırken gerilme hesaplama tipi Von mises olarak seçilmiştir. Şekil 5.3'te solidworks stres grafiği görüntü seçenekleri yer almaktadır.



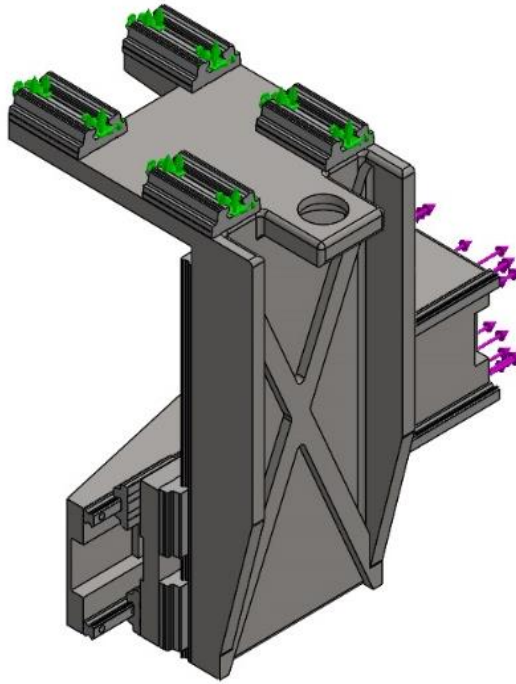
Şekil 5.3. Solidworks stres grafiği görüntü seçenekleri

Yazılı olarak ifade edersek, aksenal gerilmelerin karelerinin toplamının yarısı, her bir yüzeydeki kayma gerilmelerinin karelerinin toplamının 3 ile çarpımının karekökü olarak ifade edilebilir.

Eğer bir analizi von Mises gerilmeleri ile kontrol ediyorsanız, hesaplama yönteminden dolayı bası ve çeki gerilmelerini göremezsiniz. Bu nedenle von Mises gerilmelerini kontrol ettikten sonra, hangi yönde gerilmelerin büyük olabileceğini düşünüyorsak, o yöndeki gerilmeleri kontrol etmeli ve eğer von Mises değerinden büyükse, bu gerilmeleri dikkate almalıyız. (URL-8)

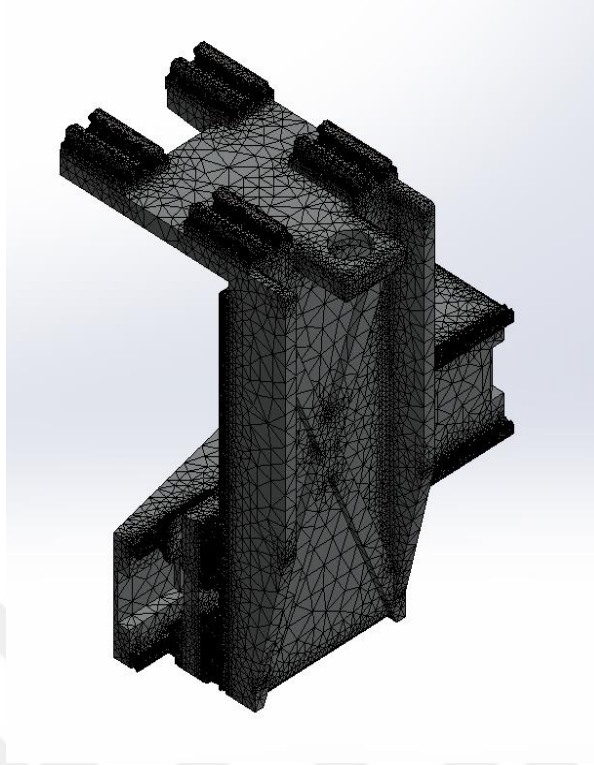
5.3. 1.İstasyon Statik Analizi

Eksen lineer arabaların bağlandığı yerden sabitlenip, spindle takılan yerden kuvvet verilerek solidworks programında statik analizi yapıldı. Şekil 5.4'te sabitlenen ve kuvvet verilen yerler görülmektedir.



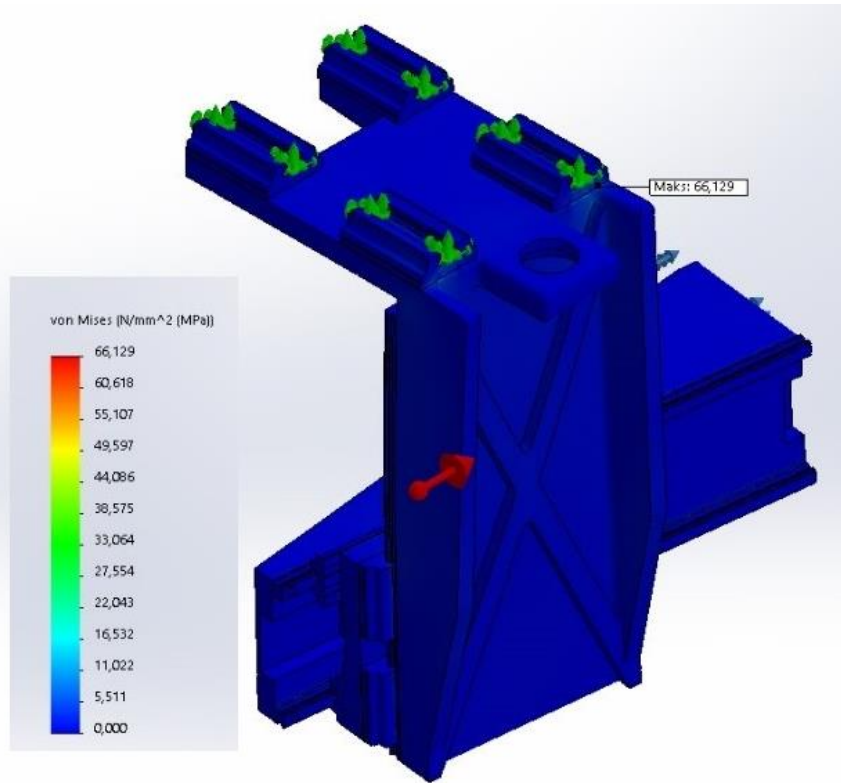
Şekil 5.4. 1. İstasyon kuvvet ve yük görüntüsü

Yeşil ile gösterilen yerler sabitleme noktasını, mor ile gösterilen yerler verilen kuvvet yönünü göstermektedir. Malzeme olarak dökme demir GG25 tanımlanmıştır.



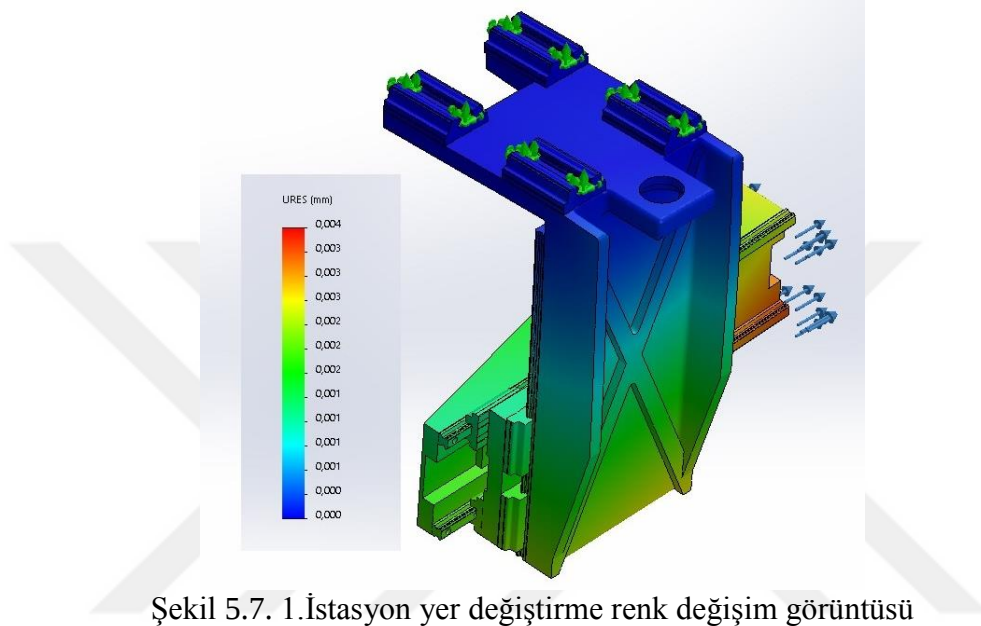
Şekil 5.5. 1.İstasyon mesh görüntüsü

Şekil 5.5'teki gibi eğrilik tabanlı mesh işlemi uygulandı. Maksimum eleman boyutu 47mm, minimum eleman boyutu 2mm'dir.



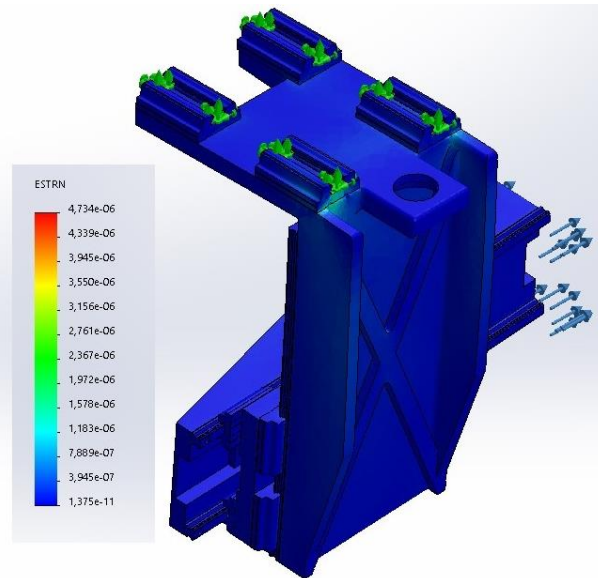
Şekil 5.6. 1.İstasyon gerilme renk değişim görüntüsü

Şekil 5.6’da stres değeri ve renklendirmesi görülmektedir. GG25 dökümde üretilecek olan eksenin maksimum akma mukavemeti 66 MPa çıkmaktadır. GG25 döküm malzemesinin akma mukavemeti 163 MPa olduğu için tasarım uygundur. Akma mukavemetine göre değerin bu kadar güvenli olmasının sebebi, tasarımda yer değiştirmenin daha önemli olmasıdır. CNC tezgâh gibi yapılarda hareketli gövdelerin çok rijit olması istenir.



Şekil 5.7. 1.İstasyon yer değiştirme renk değişim görüntüsü

Şekil 5.7’de yer değiştirme değeri ve model üzerindeki renklendirmesi görülmektedir. Maksimum yer değiştirme 0,004mm’dir. Şekil 5.8’de eksenin gerinim değerleri ve model üzerinde renklendirmesi görülmektedir.



Şekil 5.8. 1.İstasyon gerinim renk değişim görüntüsü

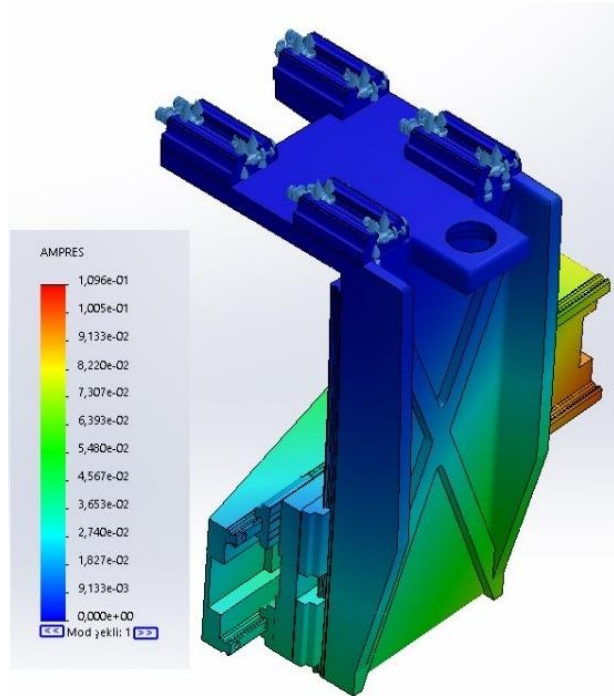
5.4. 1. İstasyon Frekans Analizi

Tablo 5.1. Hazır alınan spindle hızı göre doğal frekansları



Spindle Hıza Göre Doğal Frekansları				
D/dak	10000	14000	18000	24000
Hz	333	466	600	800

Tablo 5.1’de tasarım için uygun olduğu düşünülen spindle hızı göre doğal frekansları yer almaktadır. Şekil 5.9 solidworks programına göre yorulma analizi yapılmış eksenin görsel renklendirmesi yer almaktadır.



Şekil 5.9. 1. İstasyon yorulma analizi örnek görüntü

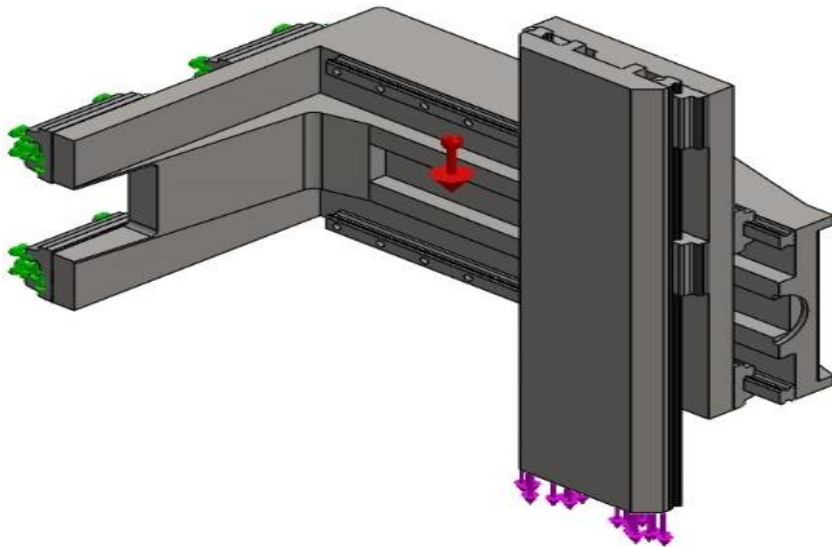
Tablo 5.2. Analizin program tarafından oluşturulan doğal frekans tablosu

Frekans Numarası	Rad/sn	Herz	Saniye
1	340,31	54,162	0,01846
2	511,9	81,471	0,01227
3	1.046,80	166,61	0,006
4	1.449,30	230,66	0,00434
5	2.726,30	433,9	0,0023
6	5.517,50	878,14	0,00114
7	6.123,30	974,56	0,00103
8	6.566,60	1.045,10	0,00096
9	6.920,30	1.101,40	0,00091
10	7.228	1.150,40	0,00087

Tablo 5.2 de ise 1. eksenin analiz sonuçlarına göre ilk 10 doğal frekansı yer almaktadır. Spindle doğal frekansları ile eksenin analiz sonuçlarına göre çakışma olmamaktadır. Eksen tasarımı bu hali ile çalışmaya uygundur ve yorulma beklenmemektedir.

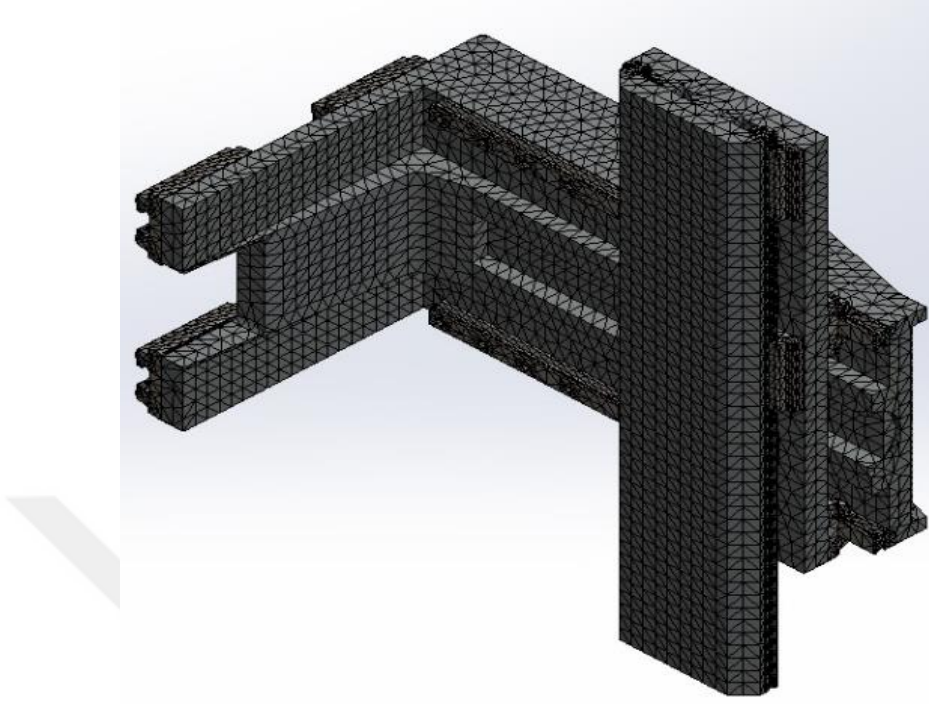
5.5. 2. İstasyon Statik Analizi

Eksen lineer arabaların bağlandığı yerden sabitlenip spindle takılan yerden kuvvet verilerek solidworks programında statik analizi yapılmıştır.



Şekil 5.10. 2.İstasyon analizde sabitlenen yerler

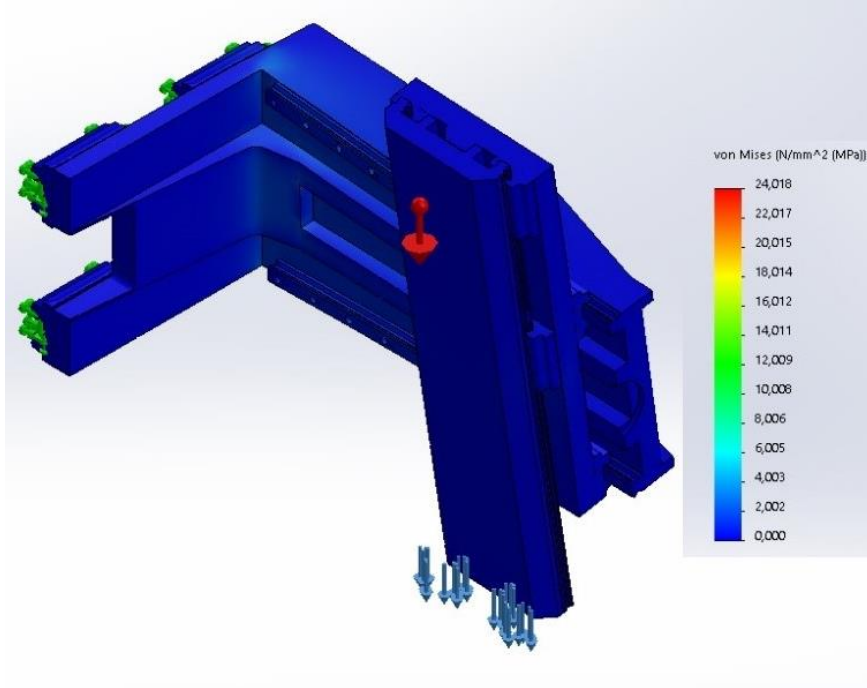
Şekil 5.10’da yeşil ile gösterilen yerler sabitleme noktasını mor ile gösterilen yerler verilen kuvvet yönünü göstermektedir.



Şekil 5.11. 2.İstasyon mesh görüntüsü

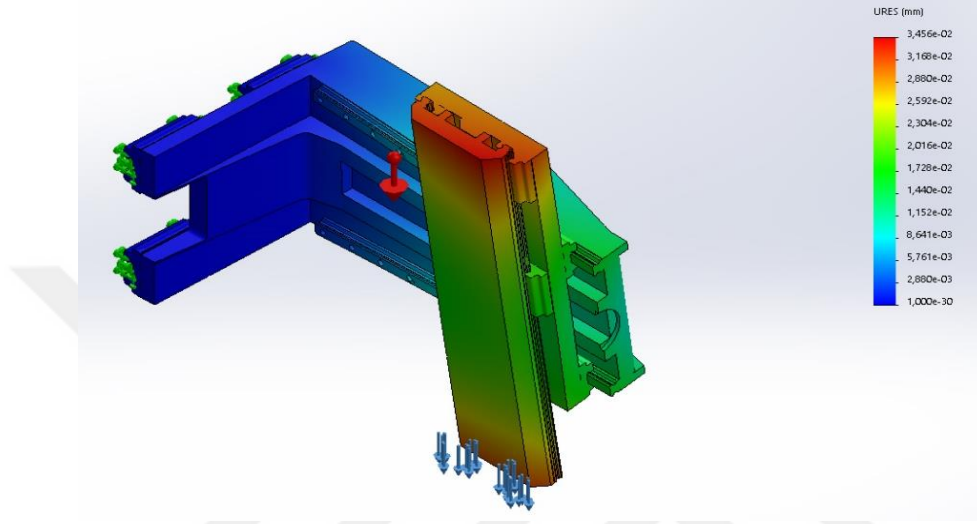
Şekil 5.11’deki gibi eğrilik tabanlı mesh işlemi uygulanmıştır.

Maksimum eleman boyutu 22mm, minimum eleman boyutu 1mm’dir.



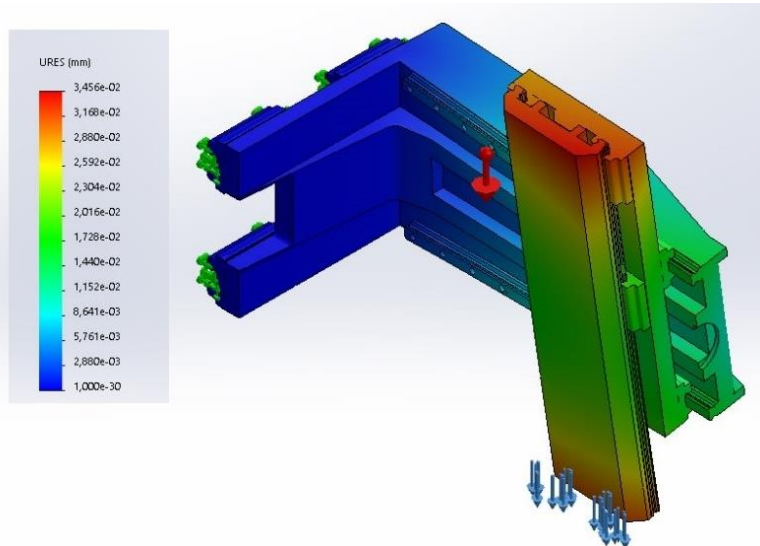
Şekil 5.12. 2. İstasyon gerilme renk değişim görüntüsü

Şekil 5.12’de stres değeri ve renklendirmesi görülmektedir. GG25 dökümde üretilecek olan eksenin maksimum akma mukavemeti 24 MPa çıkmaktadır. GG25 döküm malzemesinin akma mukavemeti 163 MPa olduğu için tasarım uygundur. Akma mukavemetine göre değerin bu kadar güvenli olmasının sebebi tasarımda yer değiştirmenin daha önemli olmasıdır.



Şekil 5.13. 2.İstasyon yer değiştirme renk değişim görüntüsü

Şekil 5.13’te yer değiştirme değeri ve model üzerindeki renklendirmesi görülmektedir. Maksimum yer değiştirme 0,03mm’dir.



Şekil 5.14. 2.İstasyon gerinim renk değişim görüntüsü

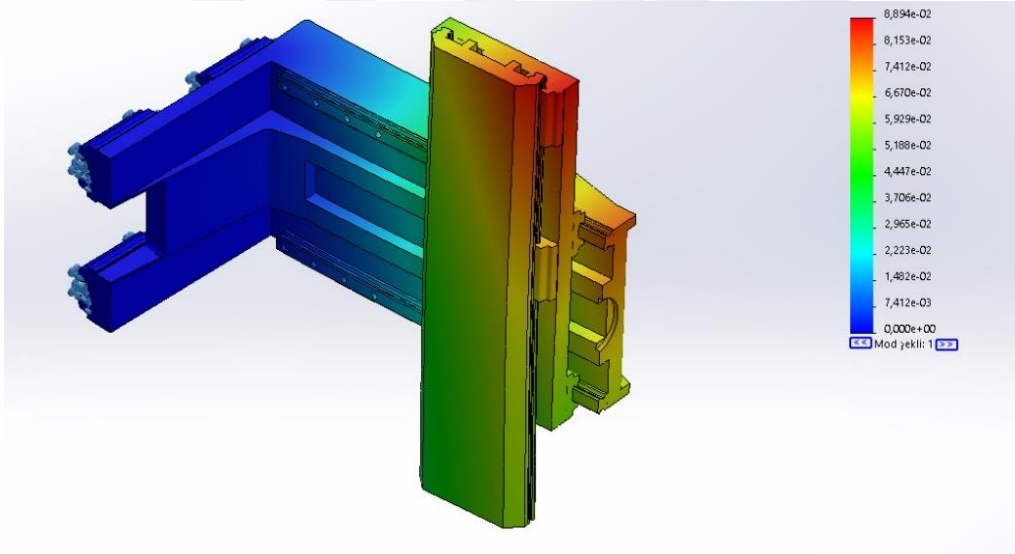
Şekil 5.14’te eksenin gerinim değerleri ve model üzerinde renklendirmesi görülmektedir.

5.6. 2.İstasyon Frekans Analizi

Tablo 5.3. Hazır alınan spindle hızı göre doğal frekansları



Spindle Hıza Göre Doğal Frekansları				
D/dak	10000	14000	18000	24000
Hz	333	466	600	800



Şekil 5.15. 2. İstasyon yorulma analizi örnek görüntü

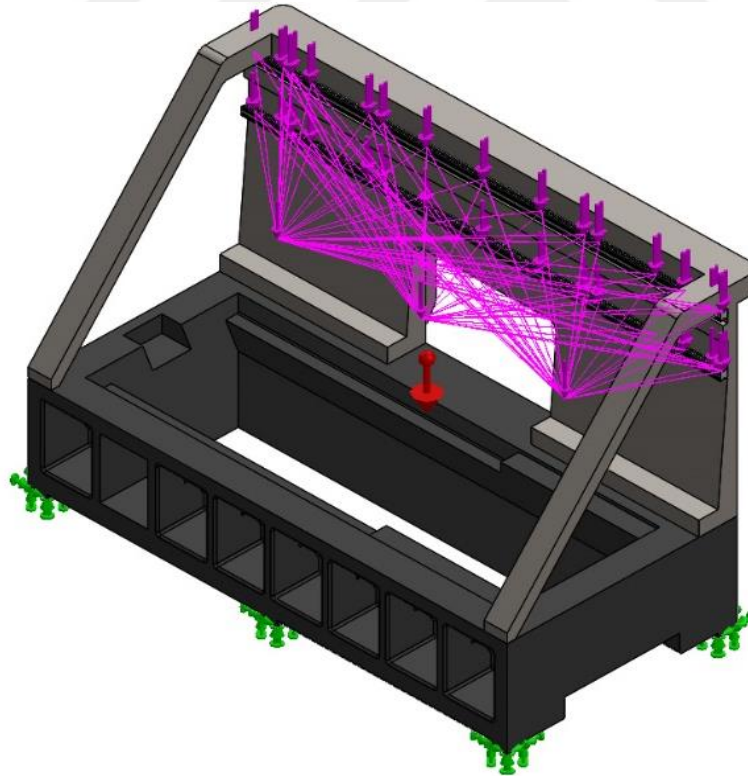
Tablo 5.3'te makinede kullanılacak olan spindle doğal frekans değerleri yer almaktadır. Tablo 5.4'te ise 2. Eksenin analiz sonuçlarına göre ilk 10 doğal frekansı yer almaktadır.

Spindle doğal frekansları ile eksenin analiz sonuçlarına göre çakışma olmamaktadır. Eksen tasarımı bu hali ile çalışmaya uygundur ve yorulma beklenmemektedir. Şekil 5.15'te 2.istasyonun yorulma analizi görüntüsü yer almaktadır.

Tablo 5.4. Analizin program tarafından oluşturulan doğal frekans tablosu

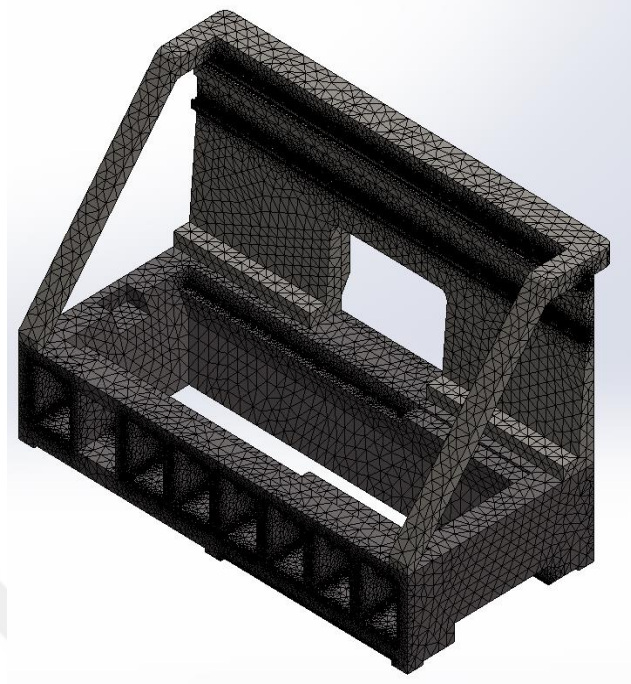
Frekans Numarası	Rad/sn	Herz	Saniye
1	390,84	62,205	0,01608
2	545,09	86,754	0,01153
3	1.036,50	164,97	0,00606
4	1.315,80	209,41	0,00478
5	2.163,30	344,3	0,0029
6	3.243	516,15	0,00194
7	5.654,60	899,95	0,00111
8	5.695,70	906,5	0,0011
9	6.908,80	1.099,60	0,00091
10	7.171,80	1.141,40	0,00088

5.7. Gövde Statik Analiz



Şekil 5.16. Gövde analizde sabitlenen yerler

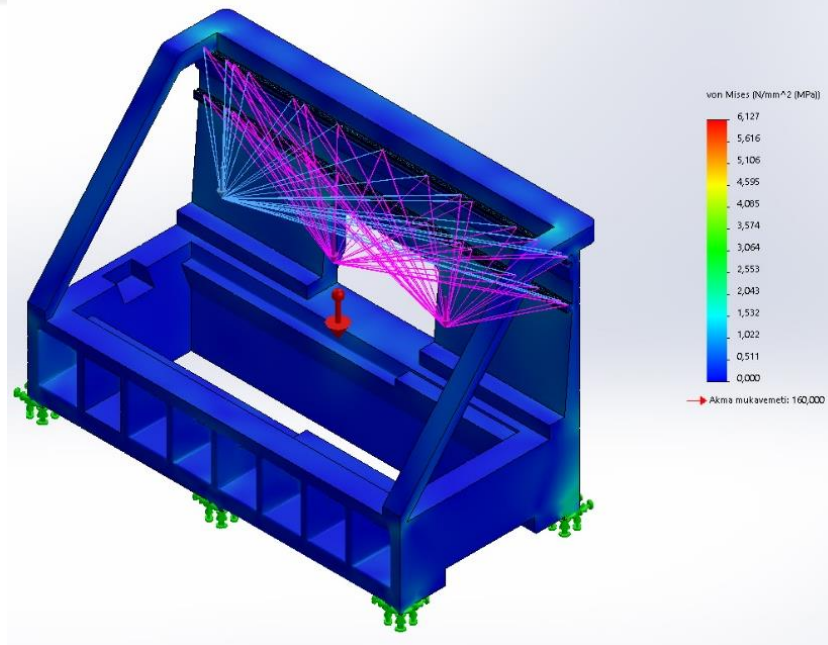
Şekil 5.16'da gövdenin analiz sırasında yükün verildiği ve sabitlendiği yerler görülmektedir. Tezgâhın ayaklarından sabitlenip eksenlerin takıldığı lineer kızaklardan uzak yük verilerek solidworks programında analiz yapılmıştır.



Şekil 5.17. Gövde mesh görüntüsü

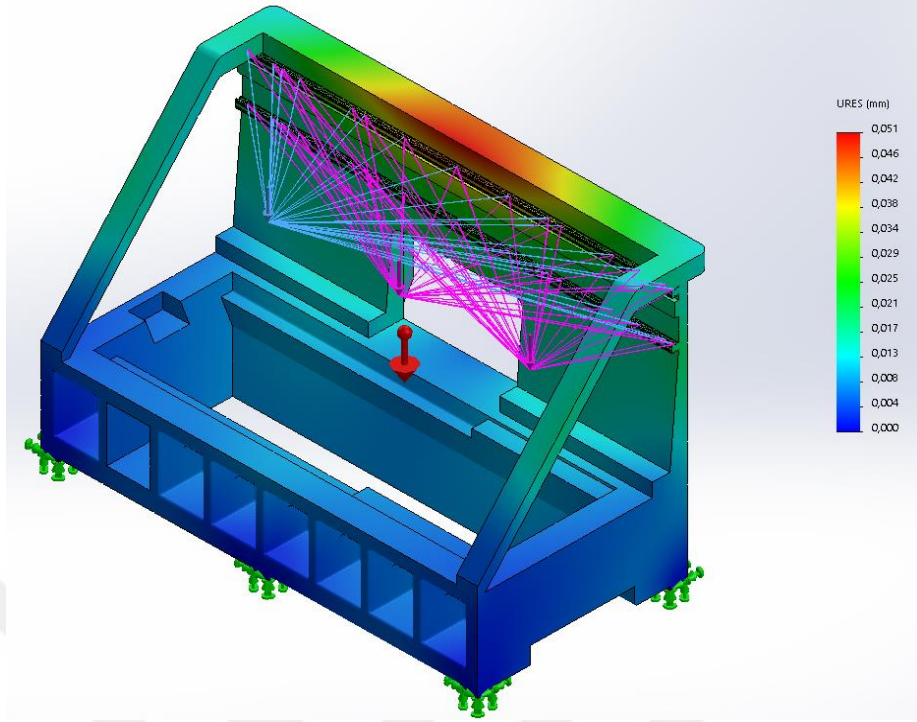
Şekil 5.17'deki gibi eğrilik tabanlı mesh işlemi uygulanmıştır.

Maksimum eleman boyutu 61 mm, minimum eleman boyutu 3 mm'dir.



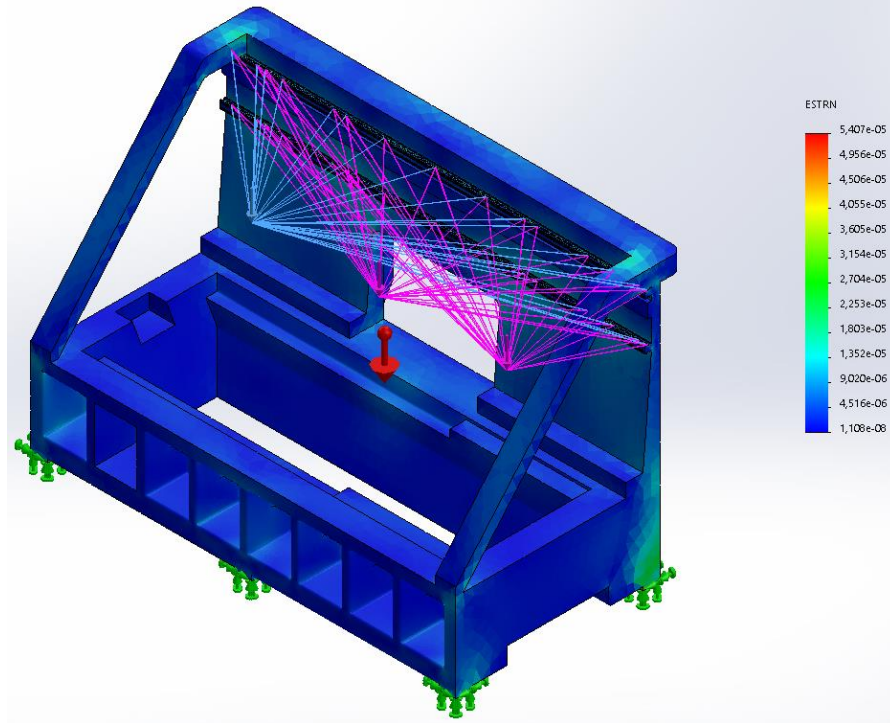
Şekil 5.18. Gövde gerilme renk değişim görüntüsü

Şekil 5.18'de stres değeri ve renklendirmesi görülmektedir. GG25 dökümde üretilcek olan eksenin maksimum akma mukavemeti 6,12 MPa çıkmaktadır. GG25 döküm malzemesinin akma mukavemeti 163 MPa olduğu için tasarım uygundur.



Şekil 5.19. Gövde yer değiştirme renk değişim

Şekil 5.19’da yer değiştirme değeri ve model üzerindeki renklendirmesi görülmektedir. Maksimum yer değiştirme 0,05mm’dir.



Şekil 5.20. Gövde gerinim renk değişim görüntüsü

Şekil 5.20’de gövdenin gerinim değerleri ve model üzerinde renklendirmesi görülmektedir.

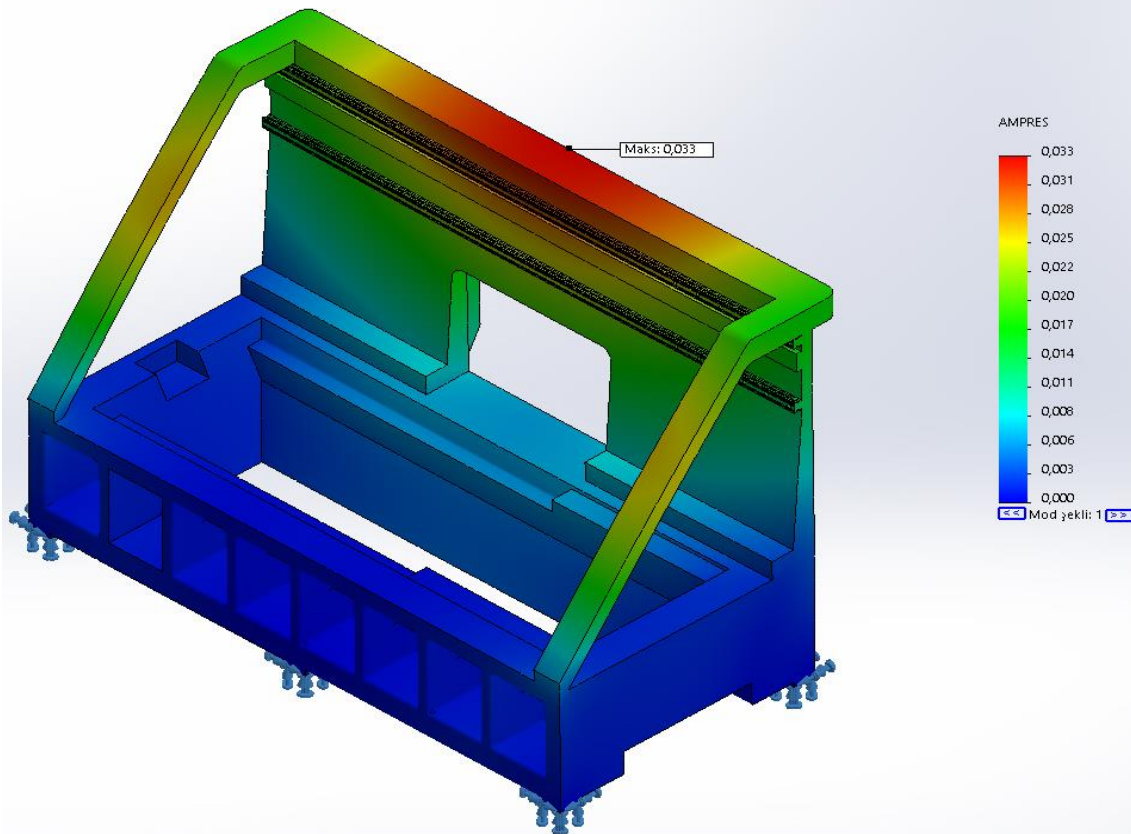
5.8. Gövde Frekans Analizi

Tablo 5.5. Hazır alınan spindle frekans değerleri



Spindle Hıza Göre Doğal Frekansları				
D/dak	10000	14000	18000	24000
Hz	333	466	600	800

Şekil 5.21’de gövde yorulma analizi örnek görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 5.21. Gövde yorulma analizi örnek görüntü

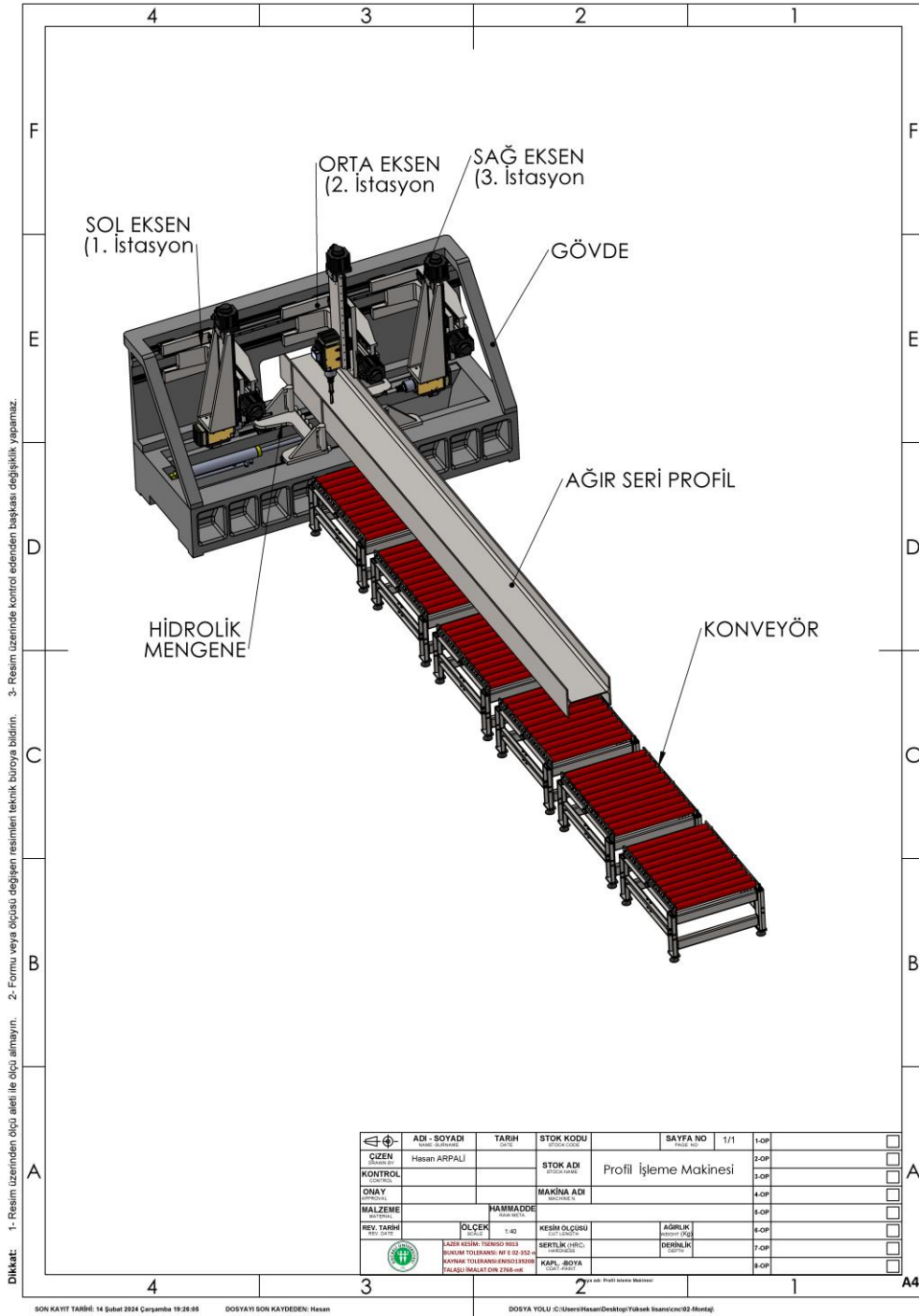
Tablo 5.6. Analizin program tarafından oluşturulan doğal frekans tablosu

Frekans Numarası	Rad/sn	Herz	Saniye
1	397,83	63,316	0,01579
2	608,01	96,768	0,01033
3	826,14	131,48	0,00761
4	993,41	158,11	0,00632
5	1.039,30	165,4	0,00605
6	1.144,90	182,21	0,00549
7	1.176,20	187,2	0,00534
8	1.378,50	219,39	0,00456
9	1.428,30	227,32	0,0044
10	2.507,90	399,14	0,00251
11	3.205,90	510,23	0,00196
12	3.363,10	535,26	0,00187
13	3.470,60	552,36	0,00181
14	4.341,70	691	0,00145
15	4.393,40	699,24	0,00143
16	4.515,60	718,68	0,00139
17	4.625,10	736,11	0,00136
18	4.764,40	758,29	0,00132
19	4.788	862,03	0,00131
20	4.886,20	877,66	0,00129
21	4.956,80	888,9	0,00127
22	5.153	920,13	0,00122
23	5.324,60	897,44	0,00118

Tablo 5.5'te makinede kullanılacak olan spindle doğal frekans değerleri yer almaktadır. Tablo 5.6'da ise gövde analiz sonuçlarına göre ilk 23 doğal frekansı yer almaktadır. Frekanslar üzerinde çakışma olmamaktadır. Bu sonuçlara göre yorulma beklenmemektedir.

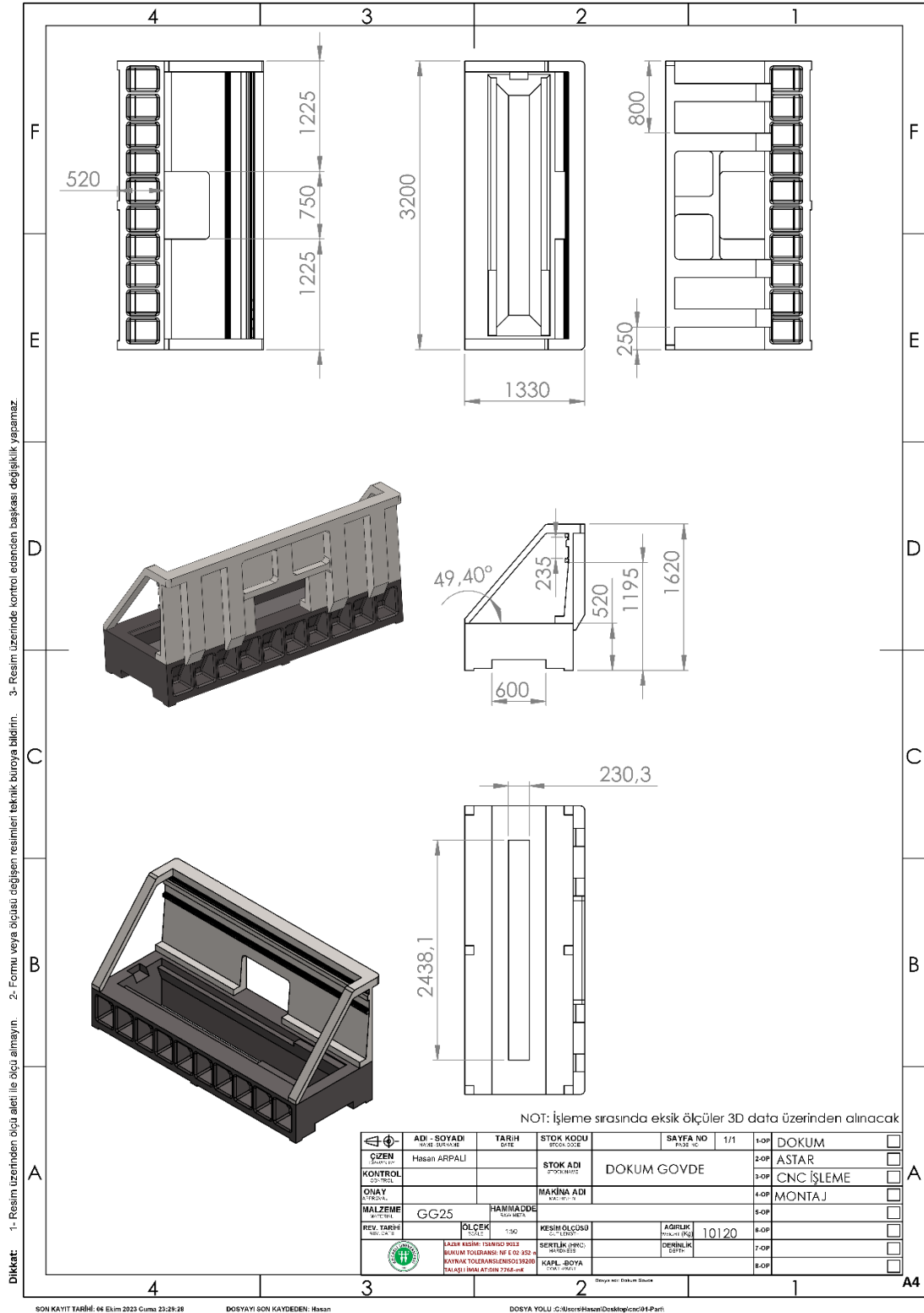
6. GEOMETRİK BOYUTLAR

Tasarımı ve analizi yapılan ağır seri profil işleme tezgâhının geometrik boyutlarını göstermek için teknik resimler aşağıda gösterilmiştir. Şekil 6.1’de tezgâh izometrik görüntü teknik resmi yer almaktadır.



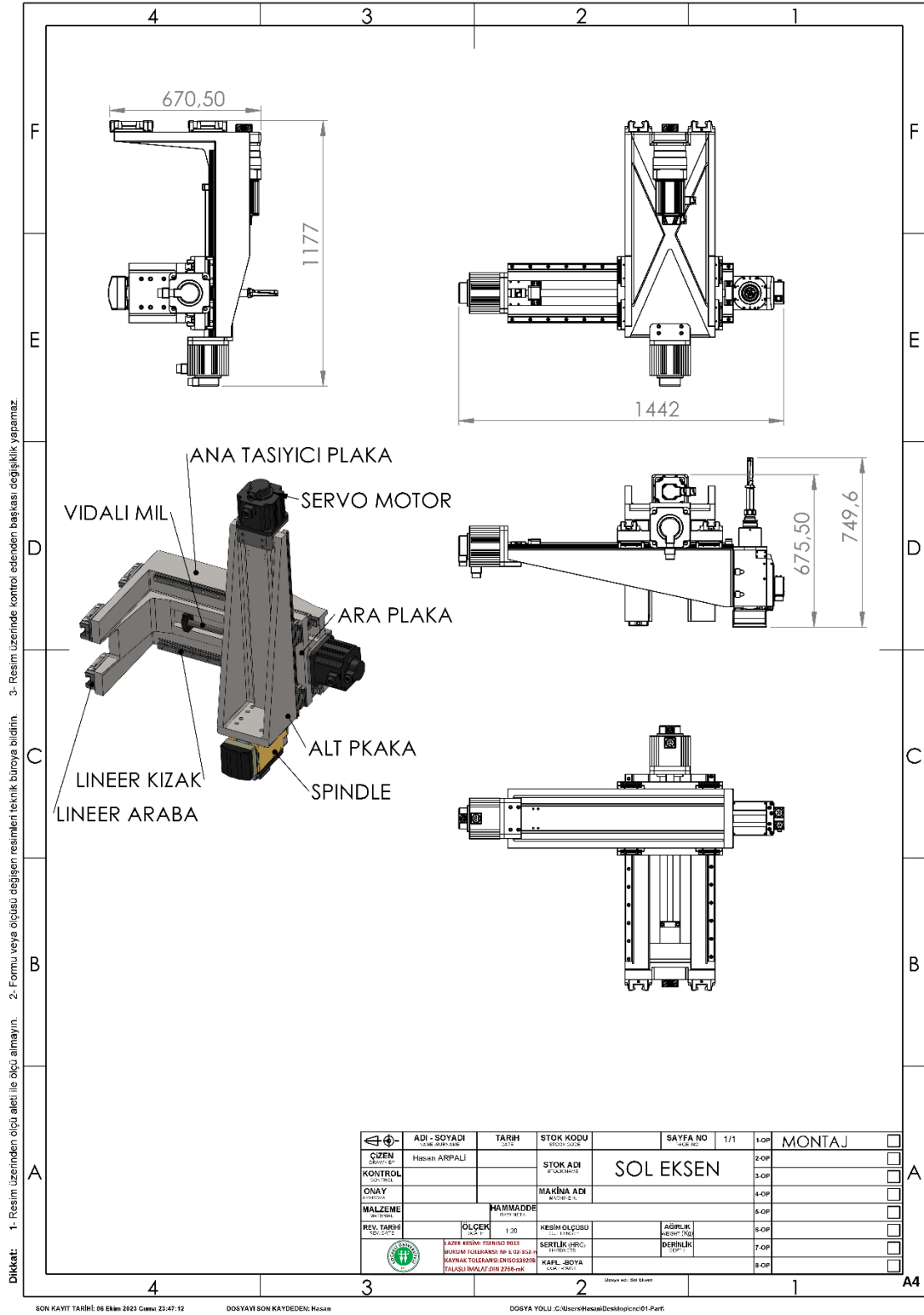
Şekil 6.1. Tezgâh genel görüntü teknik resmi

Şekil 6.2’de Tezgâh gövdesi teknik resmi yer almaktadır.



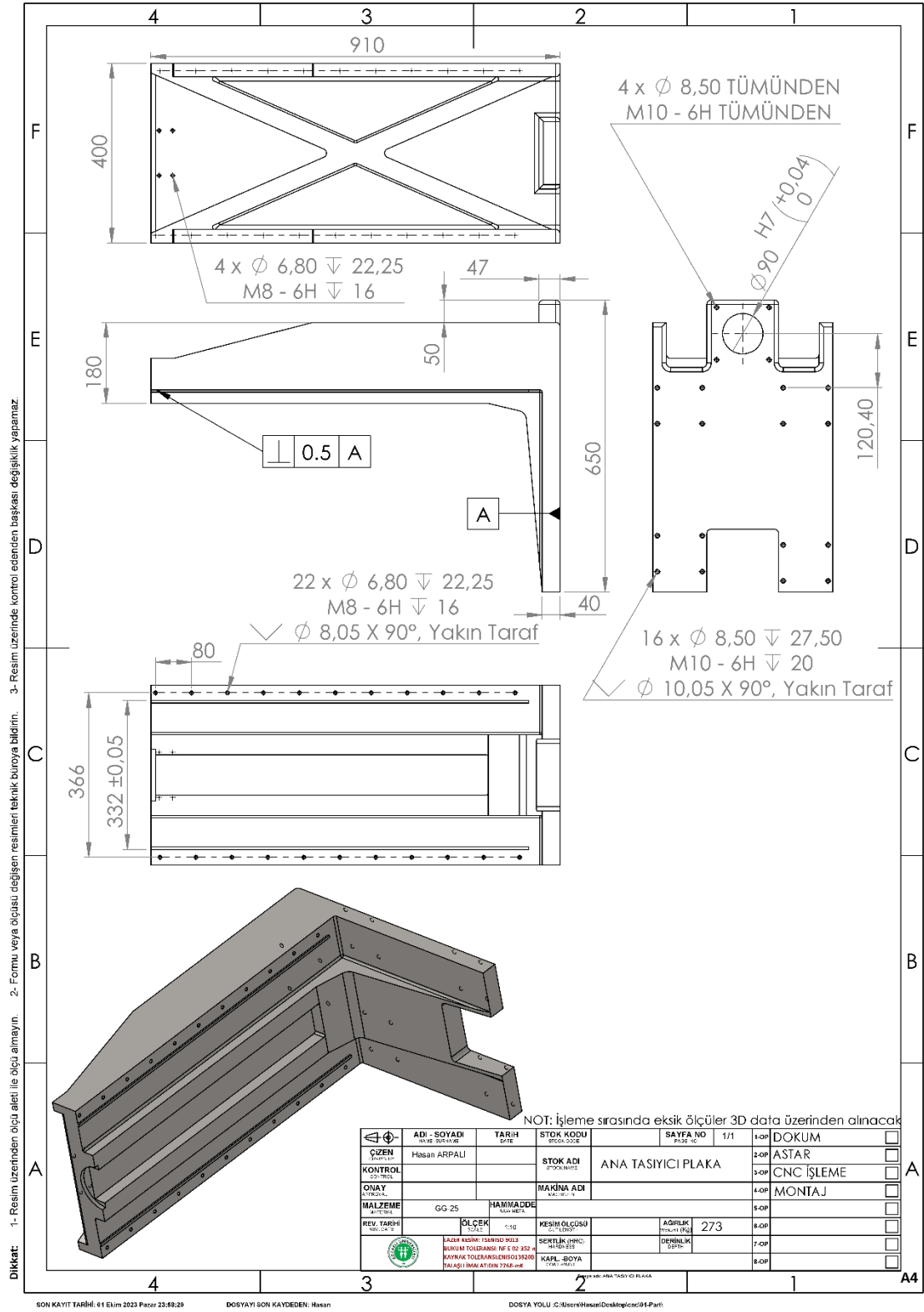
Şekil 6.2. Tezgâh gövdesi teknik resmi

Şekil 6.3'te sol eksen teknik resmi yer almaktadır.



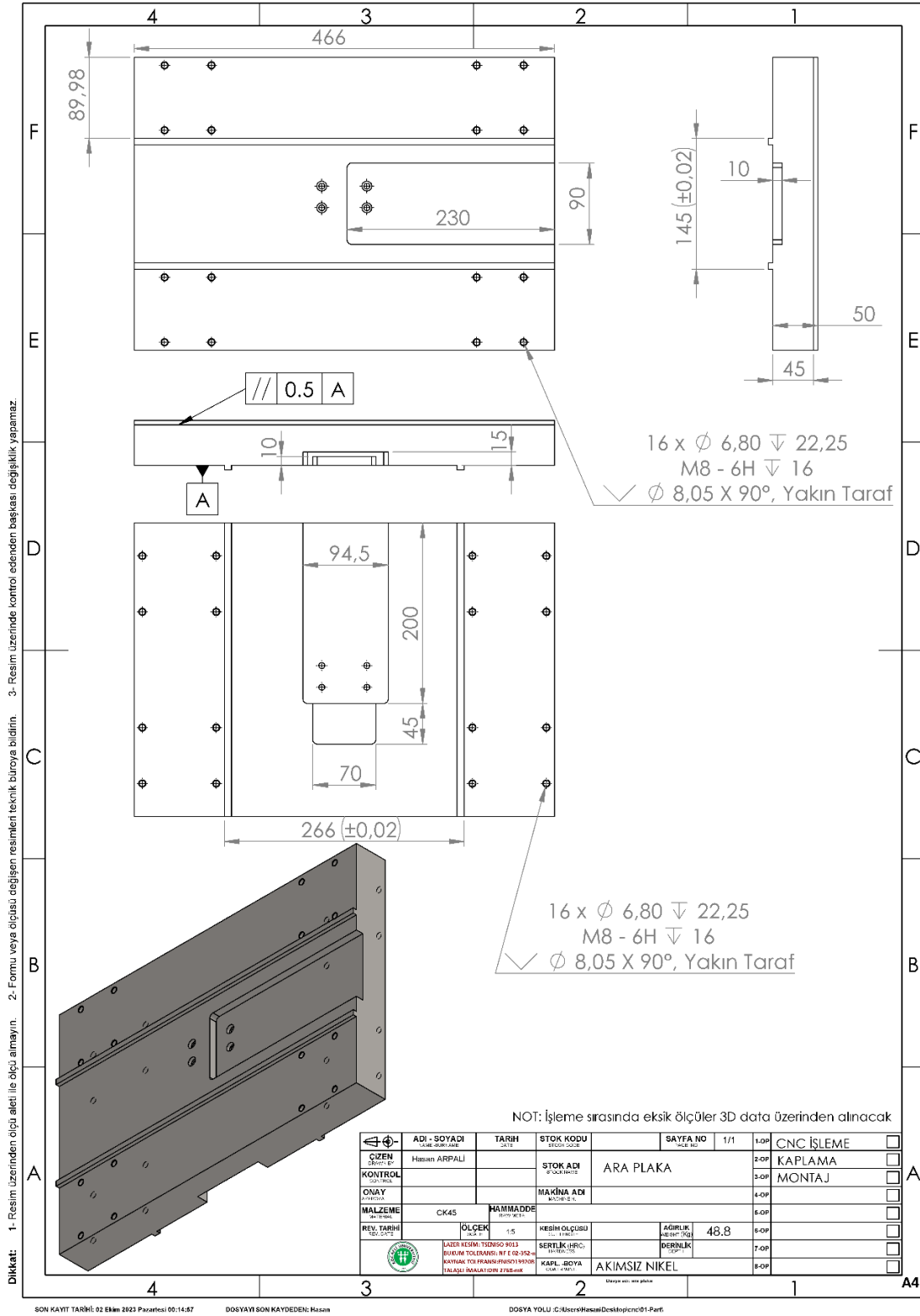
Şekil 6.3. Örnek sol eksen teknik resmi

Şekil 6.4’de ana taşıyıcı plaka teknik resmi yer almaktadır.



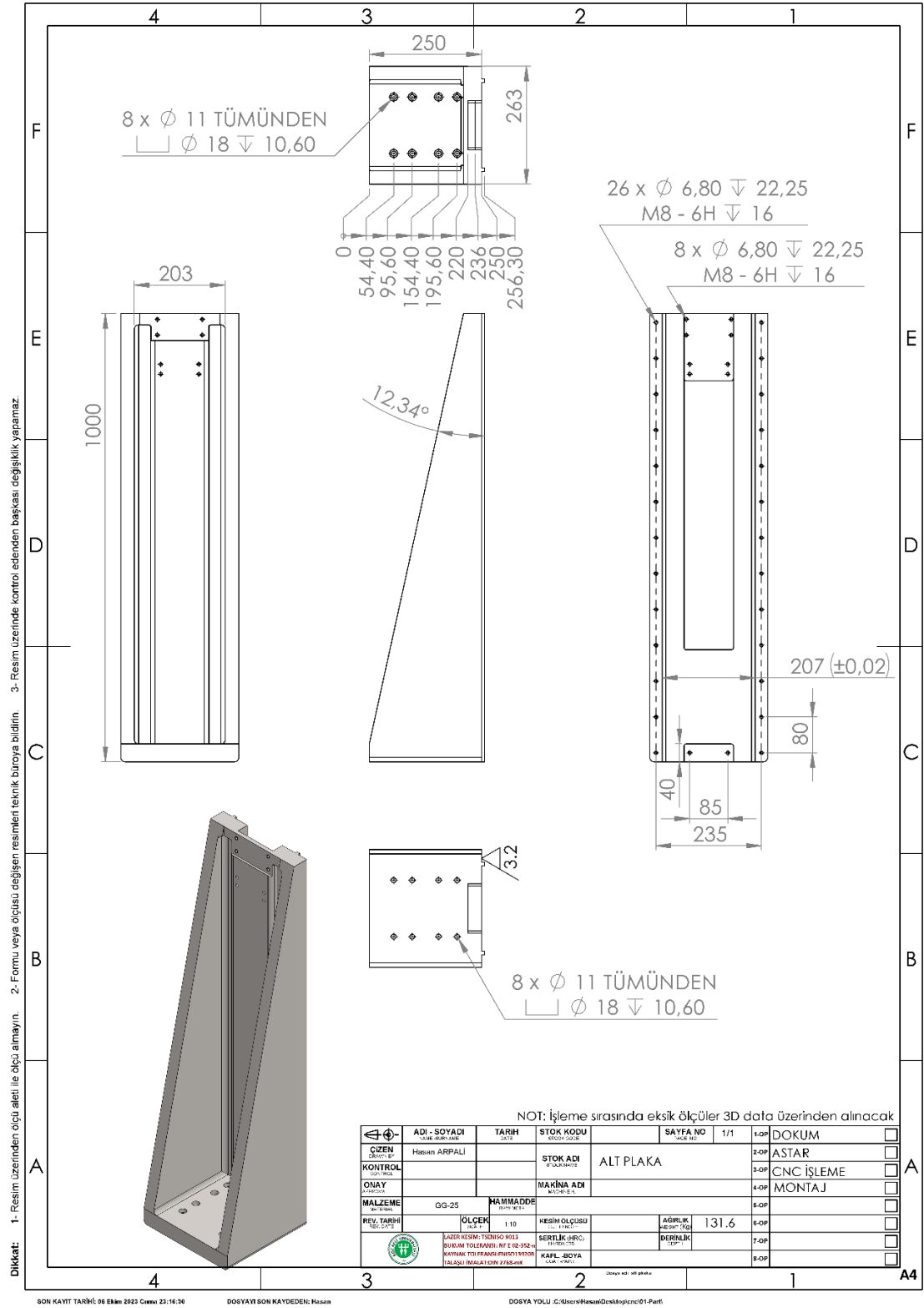
Şekil 6.4. Ana taşıyıcı plaka teknik resmi

Şekil 6.5'te ara plaka teknik resmi yer almaktadır.



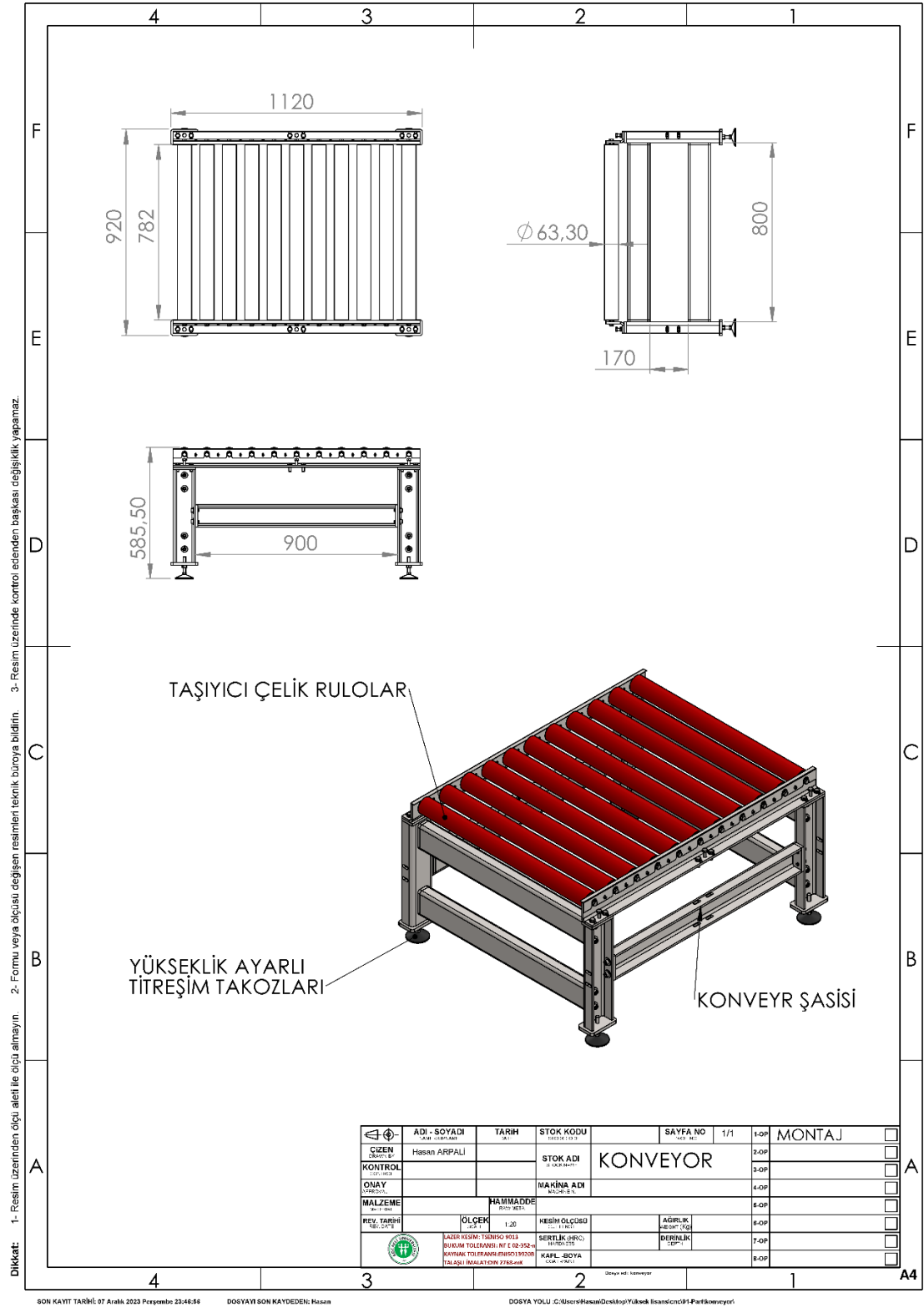
Şekil 6.5. Ara plaka teknik resmi

Şekil 6.6’da alt plaka teknik resmi yer almaktadır.



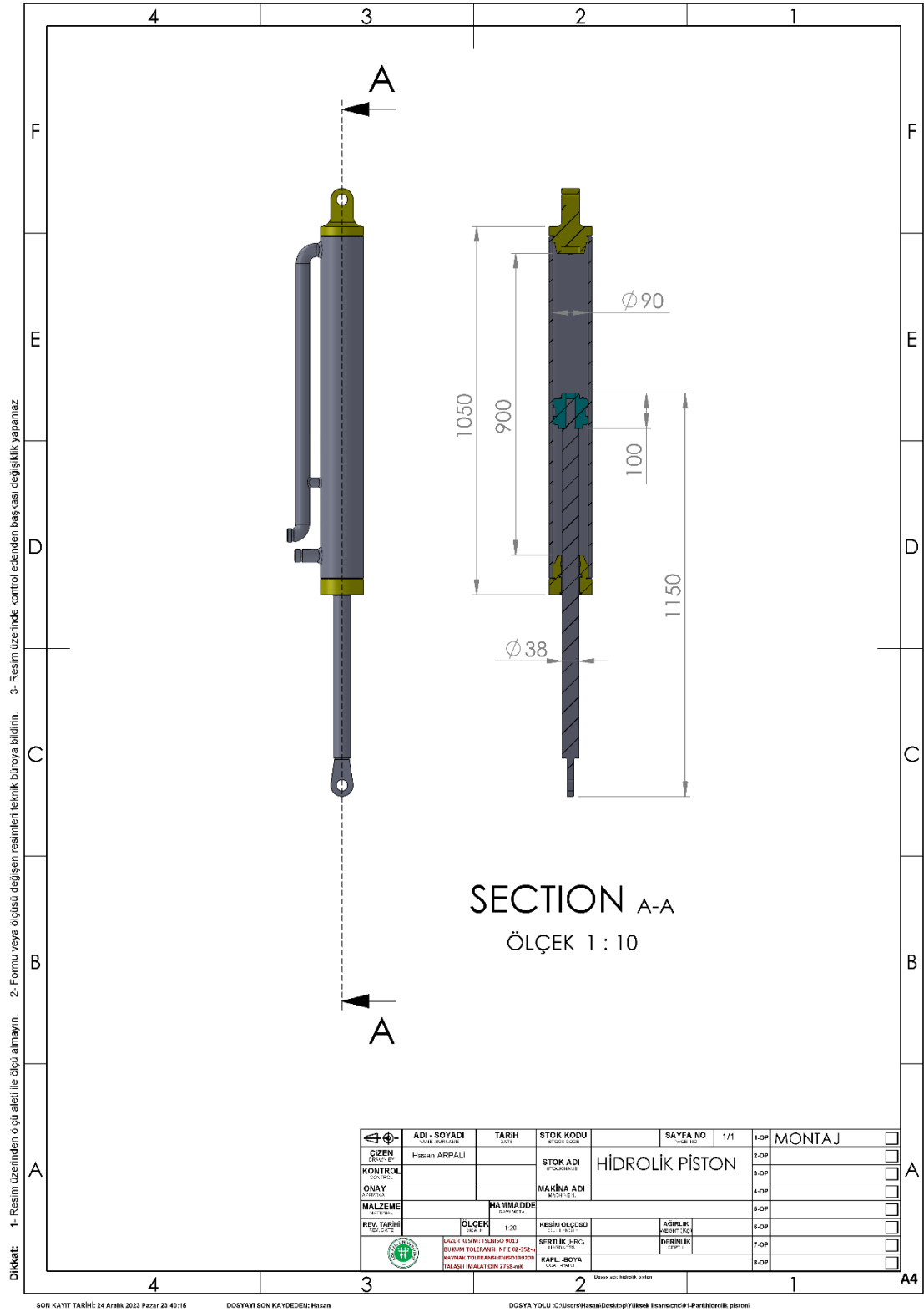
Şekil 6.6. Alt plaka teknik resmi

Şekil 6.7’de konveyör genel görüntü teknik resmi yer almaktadır.



Şekil 6.7. Konveyör genel görüntü teknik resmi

Şekil 6.8’de hidrolik piston teknik resmi yer almaktadır.



Şekil 6.8. Hidrolik piston teknik resmi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada solidworks programı kullanılarak ağır seri CNC profil işleme makinesi tasarımı yapıldı. Bu çalışma, CNC parça işleme makinesi tasarımı yapacak olanlar için motor, vidalı mil, redüktör, lineer yataklar gibi yardımcı elemanlar seçiminde destek olması amacıyla yapıldı.

Makine üzerinde 3 adet işleme eksen bulunmaktadır. Eksenin biri yukarıdan dikey işlem yapmakta diğer 2'si ise profilin sağ ve sol tarafından yatay işleme yapmaktadır. Yatay işlem yapan eksenlere benzer kuvvetler geldiği için analiz işlemi sadece birine uygulanmıştır. Analiz işlemlerinde makinedeki parçaların akma gerilmesinden daha çok yer değiştirme miktarı baz alınmıştır. Yüksek gerilmelerde yer değiştirme miktarının fazla olması makine hassasiyetini çok fazla etkilemektedir. Çok az yer değiştirme istendiği için makine akma gerilmeleri çok düşük çıkmaktadır bu da parçaların yorulma analizinde ömürlerini pozitif yönde etkilemektedir. Makinenin gövde ve eksen parçaları döküm yolu ile üretilip CNC makinelerde işlenerek montajı yapılmaktadır. Döküm yolu ile üretilmesi, parçaların titreşimi absorbe etmesinde pozitif etki yaratmaktadır.

Profil işleme işleminde aynı anda 3 eksen kullanılarak çok hızlı işleme yapılabilir; ama bu eksenler maliyeti çok fazla arttırmaktadır. Hızdan çok maliyetin önemli olduğu proseslerde tek eksen kullanılarak da aynı işlem yapılabilir; ama tek eksenle işleme süresi yaklaşık 3 katına çıkmaktadır. Büyük inşaatlarda bu tip makineler kullanılarak montaj süresinde kısalma ve yüksek montaj doğruluğu sayesinde daha kaliteli yapılar yapılabilir.

CNC makine tasarımı yapılırken makine isterleri çok önemlidir. Çok hassas CNC makinesi yapılacaksa servo motor seçiminde yüksek çözünürlüklü encoder, hassas taşlanmış vidalı mil, hassas taşlanmış kremayer, düşük arcminli redüktör seçimi yapılmalıdır. Ayrıca yapısal olarak gövdenin rijit yani yük geldiği zaman çok düşük yer değiştirmeye sahip olması ve titreşimlerde rezonansa girmemesi çok önemlidir. Ama alüminyum veya plastik işleme tezgâhlarında biraz daha az hassasiyet istenmektedir. Daha az hassasiyet istenen tezgâhlarda da aynı konulara dikkat edilerek fiyat ve kalite açısından uygun ürün seçimi yapılabilir. Çok hassas parça işlenmeyecekse (ahşap gibi) taşlanmış vidalı mil, düşük boşluklu redüktör seçimine gerek yoktur.

KAYNAKLAR

- Akkurt, A., (1985) *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Akyapak, L. (2007). Metal İş Parçası Delme Makinelerinde Gerçekleştirilen Yenilik (Turkish Patent No. 2007/07882). Türk Patent.
- Akyapak, L. (2013). Delik Delme Frezeleme ve Kesme Gibi İşlemleri Yapabilen Bir İşleme Makinesi. (Turkish Patent No. 2013/07885). Türk Patent.
- Akyapak, L. (2009). Metal İş Parçası Delme Makinelerinde Gerçekleştirilen Yenilik (Turkish Patent No. 2009/05842). Türk Patent.
- Altın M. (2023). Sıkı Geçme İle Birleşen Takım Tutucu-Uzatici Ve Uzatici-Takım Ara yüzünün Temas Dinamiklerinin Modellenmesi ve Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 800697.
- Arpali, H. (2023). CNC Tezgâh Tasarımında Güç ve Hareket Grubu Seçimi. *Sivas 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*. Sivas, 881-892. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.840921>.
- Büyükaşahin, U. (2005). 3 Eksenli CNC Tezgâh Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 198939.
- Erden O. (2018) Briket Makineleri Elektromekanik Ve Pnömatik Toplama Robotu Tasarımı. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 16(2), 48-59.
- Erdöl, M. (2014). Bilyalı Vidalı Mil Hareket Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Titreşim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 351970.
- Erer H. (2000). “CNC takım tezgâhlarının gelişimi”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Mühendis Ve Makine Dergisi*, 486, 37–40.
- Gevrek F. (2013). Prototip Üç Eksenli CNC freze Tezgâhı Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, 332282.
- Göloğlu C. ve Bunarbaşı İ. (2004). Üç eksenli doğrusal hareket mekanizması tasarımı ve imalatı, *Teknoloji*, 7(3), 507-515.
- Hiwin, (2018). Ballscrews Technical Information, Taiwan
- Hiwin, (2019). Linear Guideway Technical Information, Taiwan
- Karabey, Ö. (2016). Prototip 3 Eksenli CNC Freze Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 414378.

- Karaçam S. (2009). Adım Motor Kontrollü hızlı CNC freze tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 246505.
- Kavala D. (2010). Beş Eksenli CNC Tezgâh Tasarımı ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 283619.
- Konez, O. (2019). Y32 Boji Şasisinin Statik Analizi ve Yorulma Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 603097.
- Kutlu M. (2006). Üç eksenli masa tipi CNC freze tezgâhı tasarımı ve imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 181605.
- Özsoy M. (2016). Yüksek Hızlı, Esnek 6 Eksen CNC İşleme Merkezi Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 432250.
- Sarı A. (2023). Servo Motorlarda Klasik ve Kesir Dereceli Kontrolör Parametrelerinin Metasezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 779661.
- Savaş S. (2011). Yeni Bir 3 Eksenli Küresel CNC İşleme Tezgâhının Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 290972.
- Smb, (2021). Motion Katalog, İstanbul
- URL-1:<https://www.akyapak.com.tr/machines.asp?id=2875&t=3-ADM-10-axis-three-spindle-cnc-drill-lines> (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2023).
- URL-2:https://ficepgroup.com/en/cat_products/beams-pipes/ (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2023).
- URL-3: <https://www.peddinghaus.com/CNC-drill-saw-line/peddi-xdm-630/machines/8> (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2023).
- URL-4: <https://www.vernet-behringer.com/> (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2023).
- URL-5: <https://www.ritecmachine.com/products/> (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2023).
- URL-6: <https://www.voortman.net/en/products/v631-CNC-beam-drilling-milling-line> (Ziyaret tarihi: 11 Ağustos 2023).
- URL-7:<https://www.milteksan.com/product/detail/CNCKontrolSeti/87/3/3>(Ziyaret tarihi:12 Temmuz 2023).

URL-8: https://help.solidworks.com/2021/turkish/SolidWorks/cworks/c_Analysis_Steps.htm (Ziyaret tarihi: 1 Nisan 2023).

R. Juvinall, K. Marshek, (2006). *Fundamentals of Machine Component Design*, John Wiley & Sons, Inc., 5. Baskı, 290-347, New York: Hoboken.

Yılmaz. Y. (2020). Tornalama işleminde talaş kırıcı formlarının ve Etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 620876.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Arpali, H. (2023). CNC Tezgâh Tasarımında Güç ve Hareket Grubu Seçimi. *Sivas 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi*, Sivas, Türkiye 15-17 Eylül 2023.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Karaman’da tamamladı. 2012 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2016 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2013-2015 yılları arasında Hidroist ekibinde mekanik tasarım ve üretim sorumlusu olarak çalıştı. 2015-2016 yılları arasında Varlık Makina firmasında çalıştı. 2016-2017 yılında askerliğini yedek subay olarak tamamladı. 2017-2021 yılları arasında Akım Metal Firmasında çalıştı. 2021-2022 yılları arasında Çelikel firmasında çalıştı. 2022-2023 yılları arasında Tfon Makine firmasında çalıştı. 2023 yılından itibaren Bmc Savunma firmasında çalışmaktadır. 2020-2024 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

