



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

ÜÇ EKSEN HASSAS CNC FREZE TEZGAHI
TASARIMI VE İMALATI

BURAK BARIŞKAN

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇ EKSEN HASSAS CNC FREZE TEZGAHI
TASARIMI VE İMALATI

BURAK BARIŞKAN



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ EKSEN HASSAS CNC FREZE TEZGAHI TASARIMI VE İMALATI

Burak BARIŞKAN

Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2015

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Burak Barışkan tarafından hazırlanan “Üç Eksen Hassas CNC Freze Tezgahı Tasarımı ve İmalatı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Kadir Çavdar İmza

Üye: Doç. Dr. Ali Durmuş İmza

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Doç. Dr. Ali Oral İmza

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

16/07/2015

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı **beyan ederim.**

16/07/2015

BURAK BARIŞKAN

ÖZET

Yüksek Lisans

ÜÇ EKSEN HASSAS CNC FREZE TEZGAHI TASARIMI VE İMALATI

Burak BARIŞKAN

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR

Bu çalışmada, otomotiv sanayisinde prototip koltuk süngeri üretmek için kullanılmak üzere 3 eksen hassas CNC (BSD, bilgisayarlı sayısal denetim) freze tezgahının, metodik konstrüksiyon ilkelerine uygun şekilde tasarımı ve imalatı amaçlanmıştır. Tasarımdan gelen geometrik model kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla modal analizler gerçekleştirilmiş ve freze tezgahın özgül frekans değerleri belirlenmiştir. Ardından 3 eksen hassas CNC'nin imalat ve montaj süreçleri tamamlanmıştır. Montajı tamamlanan CNC tezgah ile deneme üretimleri yapılarak bir ürün üzerinde 3 boyutlu ölçüm metodu ile koordinat ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Projenin sonunda makinenin çalışma toleransları belirlenmiş ve süreçte yaşanan tasarım ve imalat tecrübeleri paylaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarlı sayısal denetim, tezgah, sistematik tasarım, sünger, sonlu elemanlar analizi, modal analiz

2015, ix + 64 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN AND MANUFACTURE OF THREE-AXIS CNC MILLING MACHINE

Burak BARIŞKAN

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

In this study, design and manufacture of the three – axis CNC (Computer numerical control) milling machine, according to methodical constrictions principles, in order to produce prototype seat foam to use in automotive industry. Modal analysis is made and specific frequency values of milling machine are determined by using finite element analysis method with geometric model from design. Afterwards, production and assembly of the 3 axis CNC is completed. With CNC milling machine that's assembly is completed, coordinate measurement is made, using 3D measurement method on a product. At the end of the project, working tolerance of the machine is determined and experiences during the design and production process is shared.

Key Words: Computer numerical control, workbench, scientific design, foam, finite element analysis, modal analysis

2015, ix + 64 pages

TEŐEKKÖR

Kendisiyle çalıőmaktan her zaman keyif aldığım, tez konusunun belirlenmesi ve tezin oluőması aşamasında çok değerli bilgi ve zamanını benimle paylaőan saygıdeğer hocam ve danıőmanım Doç. Dr. Kadir ÇAVDAR'a teőekkÖr ederim.

Tez çalıőmalarımda destek olan ve prototip çalışma sahasını bana aan MARTUR AR – GE bÖlÖmÖne, MARTUR AR – GE bÖlÖmÖ direktÖrÖ Recep KURT'a, MARTUR prototip bÖlÖmÖ sorumlusu Mesut YAYLAK'a ve modal analiz çalışmalarında yardımcı olan çalışma arkadaőım Serdar SARISA'a teőekkÖrlerimi sunarım.

Son olarak tez çalıőmalarım boyunca her koőulda yanımda olan, sabrını ve desteğini esirgemeyen aileme, arkadaőlarıma ve özellikle GÖzde ÖRNEK'e sonsuz teőekkÖrlerimi sunuyorum.

Burak Barışkan

16/07/2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Literatür Araştırması.....	3
2. MATERYAL YÖNTEM.....	7
2.1. Metodik Konstrüksiyon Yaklaşımı.....	7
2.2. Sonlu Elemanlar Metodu.....	11
2.3. Hata Türleri ve Etkileri Analizi FMEA.....	14
2.3.1. FMEA Türleri.....	15
2.3.2. Uygulama.....	17
2.3.3. Önlemler.....	18
2.3.4. Değerlendirme.....	19
2.4. Makine Elemanları - Konstrüksiyon.....	21
2.5. CNC	23
2.6. CNC Tasarımı.....	26
2.6.1. Tasarım FMEA.....	26
2.6.2. CNC Tezgah Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Analizi.....	26
2.6.2.1. Örnek Alınan Sistemler.....	26
2.6.2.2. Tasarım Çalışması.....	29
2.6.2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz.....	39

2.6.3. İmalat.....	42
3. BULGULAR.....	48
3.1. 3 Boyutlu Ölçüm.....	48
3.2. Tekrarlama Hassasiyeti.....	50
4. SONUÇ.....	52
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	55
EK 1 Ar – Ge CNC Ölçüm Sonuçları.....	56
EK 2 CNC Tasarım FMEA.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	64

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
S	Severety (hata şiddeti)
O	Occurence (hatanın oluşumu)
D	Detection (hatanın tespiti)
μ	Sürtünme katsayısı
M	Kütle
D	Kasnak çapı
JL	Yük ataleti
JM	Rotor ataleti
Tf	Sürtünme torku
Ta	İvme torku
N	Motor dönme hızı
Kısaltmalar	Açıklama
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)
SEM	Sonlu Elemanlar Metodu
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
MIT	Massachusetts Instute of Tecnnology

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 a,b. Kalıptan çıkmış koltuk süngeri örnekleri.....	2
Şekil 1.2. 3 Eksen hassas CNC freze tezgah ile işlenen koltuk süngeri örneği.....	2
Şekil 2.1. Konstrüksiyonda işlem adımları.....	8
Şekil 2.2. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması.....	12
Şekil 2.3. Hata türleri ve etkileri analizi.....	14
Şekil 2.4. Hata maliyet gelişmesi.....	16
Şekil 2.5. FMEA örneği.....	20
Şekil 2.6. Örnek alınan CNC tezgah.....	27
Şekil 2.7. Kablo sistemi örneği.....	28
Şekil 2.8. Bilgisayar kontrol konum örneği.....	28
Şekil 2.9. Kayış – kasnak mekanizmalarının ön tasarımı.....	30
Şekil 2.10. Kızak mekanizmalarının ön tasarımı.....	30
Şekil 2.11 a, b, c. 3 ayrı motorun taşıyacağı konstrüksiyon.....	31
Şekil 2.12. ESTUN servo motor seçimi için hesaplama.....	32
Şekil 2.13. Servo motor – kızak mekanizması arasındaki hareket iletim sistemi... 34	34
Şekil 2.14. Servo motor – kızak mekanizması sistem tasarım gözden geçirme.... 34	34
Şekil 2.15. CNC tezgah işleme kursları.....	35
Şekil 2.16. Y eksenli sonsuz vida mil mekanizması tasarımı.....	36
Şekil 2.17. Sonsuz vida mil seçim tablosu.....	36
Şekil 2.18. Seçilen kızak sistemlerinin ölçü tablosu.....	37
Şekil 2.19. Kızak arabasına gelen yükler.....	37
Şekil 2.20. Kızak arabası yük – sürtünme eğrisi.....	38
Şekil 2.21. Mod Frekans Değeri 18 Hz.....	40
Şekil 2.22. Mod Frekans Değeri 19 Hz.....	40
Şekil 2.23. Mod Frekans Değeri 23 Hz.....	41
Şekil 2.24. Temin edilen sac parçalar.....	42
Şekil 2.25. Kullanılacak ürünlerin CNC’de işlenmesi.....	43
Şekil 2.26. Profillerin kaynatılarak karkas haline getirilmesi.....	44
Şekil 2.27. Hassas olarak işlenen sac parçalar.....	45
Şekil 2.28. Montaj çalışması.....	46
Şekil 2.29. CNC tezgah ilk deneme çalışmaları.....	47
Şekil 3.1. 3 boyutlu ölçüm için tasarlanan model.....	48
Şekil 3.2. CAM modülü simülasyonu.....	49

Şekil 3.3. CNC tezgahda işlenen model.....	49
Şekil 3.4. Tekrarlama hassasiyeti.....	50
Şekil 3.5. Tekrarlanabilirlik ölçümleri.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 . Tekrarlama hassasiyeti ölçümleri	51
--	----

1. GİRİŞ

1.1 Amaç

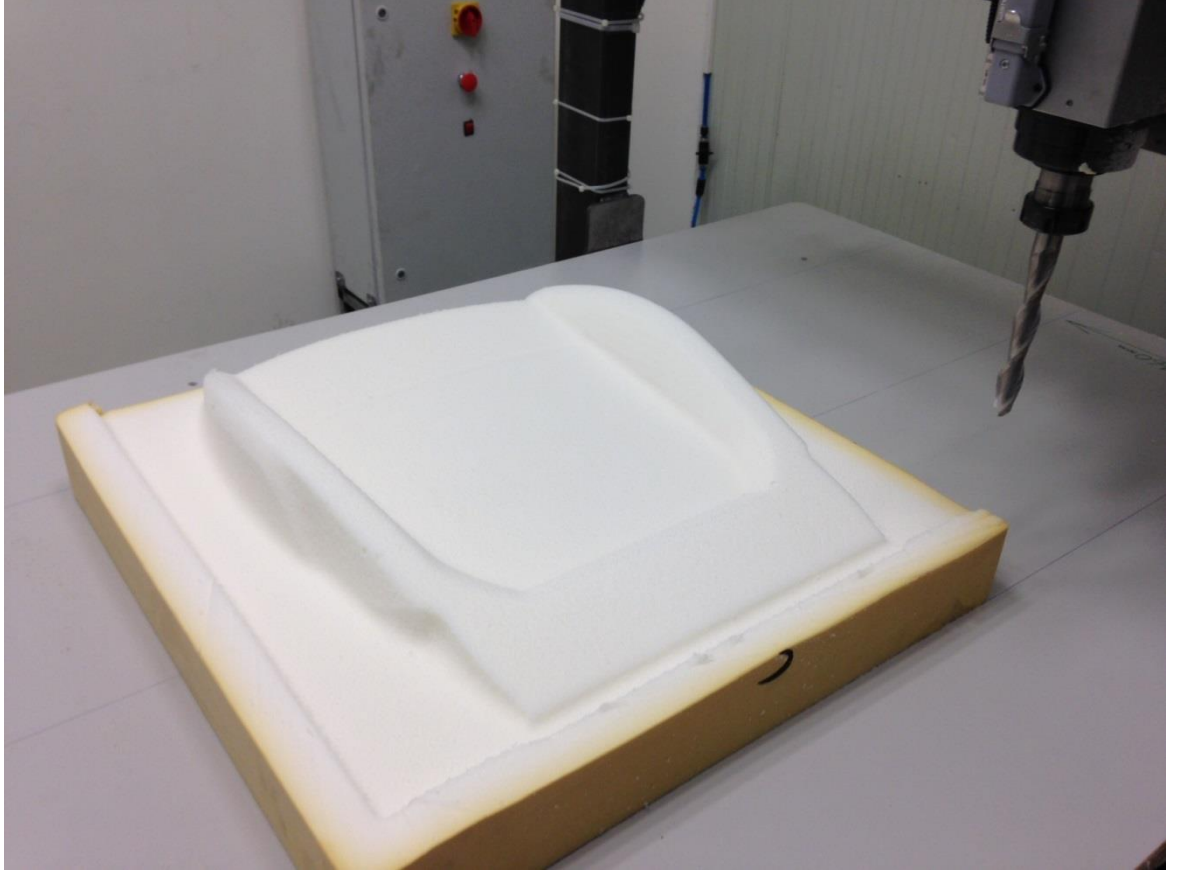
Araç ana sanayisinde bir ürünün seri imalatına geçilmeden önce prototip ürün imalatı yapılır. Bu ürün üzerinde denemeler, konfor ve görsel testler yapılarak tasarım doğrulanması gerçekleştirilir ve sonucunda değişiklikler yapılarak seri imalata geçilmeden önce ürün nihayet haline ulaşır. Araç koltuğu bileşenlerinin en önemlilerinden birisi de koltuk süngeridir ve koltuk süngeri prototipi hazırlamak süreç açısından çok önemli bir konumdadır. Firmalarda prototip koltuk süngeri şablonlar yardımıyla hazırlanmaktadır. Bu yöntemde tasarımdan gelen geometrik model üzerinden belirli aralıklarla kesitler alınır ve biraz da ilkel bir yöntemle blok haldeki sünger kesilip tıraşlanarak nihai prototip ürün elde edilir. Bu yöntemle $\pm 6/600$ mm (Fiat Specs, 2014) olan sünger ölçüm tolerans aralığına girmek oldukça zor olmaktadır. Bu olumsuzluklardan dolayı günümüz teknolojisini sünger prototipi hazırlanmasında kullanmak kaçınılmaz hale gelmektedir. Yaklaşık iki günde tamamlanan süreç CNC freze tezgah kullanılarak birkaç saate kadar düşürebilecektir.

Bu tez çalışmasında; koltuk süngerinin istenen tasarımda imalatı için günümüz CNC teknolojisini kullanarak özel bir makine tasarımı ve imalatı amaçlanmıştır. Mevcut CNC tezgahlar ile imalatı verimsiz olacak olan koltuk süngerinin amaca uygun ve hızlı şekilde üretimi için tasarlanan makine çeşitli bilimsel süreçler yardımı ile imal edilip hayata geçirilmiştir. Bu tezgah halen MARTUR AŞ'nin prototip imalat atölyesinde başarı ile kullanılmaktadır.

Ortaya çıkacak CNC freze tezgah yardımıyla, Şekil 1.1 a,b'de verilen, kalıptan çıkan orijinal koltuk süngerine en yakın prototip koltuk süngerinin üretilmesi hedeflenmektedir. CNC freze tezgah ile üretilen ilk prototip koltuk sünger örneği Şekil 1.2'de görülebilir.



Şekil 1.1a,b. Kalıptan çıkmış koltuk süngeri örnekleri



Şekil 1.2. 3 eksen hassas CNC freze tezgah ile işlenen koltuk süngeri örneği

1.2 Literatür Araştırması

CNC tezgah tasarımında en önemli parametrelerden birisi, tasarımı doğrulamak ve imalata geçmeden önce sistemin çalışmasını kontrol etmek için sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapmaktır. CNC sistemin analizi için özgül frekansların bilinmesi çok önemlidir. Bu frekansların belirlenmesi için tezimizde de kullanılan yöntemin adı Modal Analizdir.

Bir diğer önemli parametre ise sisteme tahrik verecek elektrik motorlarının seçilmesidir. Tezgahın kendi kütlesi ve çalışması için gerekli güçler belirlenerek uygun motorlar tip ve güce göre seçilmelidir. Ayrıca CNC tezgah kontrol biçimi de önemli bir noktadadır. Belirtilen bu parametreler baz alınarak kaynak araştırması yapılmıştır. Bu bölümde bu kaynak araştırmalarına yer verilecektir.

Oral ve Çelik (2009), çalışmalarında modüler montaj elemanları sayesinde birden fazla fonksiyonu yerine getiren, bilgisayarlı sayısal denetime sahip 3 eksen frezeleme ve oksijenle kesme işlevlerini gerçekleştiren bir imalat makinesi tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmişlerdir. Sistem üzerinde tekrarlı hassasiyeti için bir değerlendirme yapılmış ve sistemin tekrarlı hassasiyetinin yüksek olduğu görülmüştür.

Cherng ve Zhang (1994), spindle (kesici takım) motorunun sistemin en önemli bileşeni olduğunu düşündükleri ve ürünün kalitesine direkt etki ettiği için modal analiz uygulamak istemişlerdir. Tahrik metodu, tahrik konumu ve hızölçer seçimi gibi parametreler analiz sonuçlarını etkileyen faktörlerdir ve çalışmada paylaşılmıştır. Çalışma sonucunda kuvveti ileten tahrik sisteminin bağlantı mekanizmalarının da sistem için önemli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca rezonans problemlerine de dikkat çekilmiştir.

Abuthakeer ve ark. (2012), CNC sistemler için önemli olan yüksek hızlı kesici takımların çalışma karakteristiklerini incelemişlerdir. Sıcaklığın kesici takımları etkilediklerini düşünerek, termik, mekanik ve dinamik davranışları incelemek adına ANSYS simülasyon programı kullanmışlardır. Bu çalışmayla sistemin doğal frekanslarını ve yüksek hızlı kesici takımın modlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak doğal frekans kesici takımın çalışma hızına da bağlı olarak değişkenlik göstererek sistemin sağlamlığına etki etmiştir.

Titreşimlerin etkili olduğu sistemlerin analizini yapmak için modal analiz uygulamaları yapılmaktadır. Bu sayede doğal frekanslar bulunarak sistemlerin kritik çalışma aralıkları veya hızları hesaplanır ve sistemin çalışmasını sağlayan bileşenler bu analiz sonuçlarına göre seçilir. Bu tip çalışmalardan bir tanesi de Yalnızca, Özelgin ve Aksoy (2014) tarafından gerçekleştirilmiştir. Otomobillerde, içten yanmalı motorların neden olduğu titreşimlerden etkilenen aktarma organlarından volanın doğal frekansı, modal analiz yapılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu bulunan frekans değerleri ile gerçek test sonuçları arasında %4'lük bir hata payı ile tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

Usal ve ark. (2014), lineer bir ultrasonik motoru ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanarak modal ve harmonik olarak analiz etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen modal frekans değerleri ile motorun hareketini sağlayacak en uygun frekans aralığını tayin edilmiştir.

Yine otomobillerde titreşimlerin etkili olduğu egzoz sistemlerinde rahatsız edici titreşim ve seslerin azaltılması için Arslan (2008) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı tasarım aşamasındaki bir sistemin dinamik özelliklerinin tanımlanabilmesidir. ANSYS yazılımı kullanarak doğal frekans analizi yapılmış ve sistemin kritik frekansları bulunmuştur. Son olarak egzoz sistemi laboratuvar ortamında titreşim deneyine tabi tutulmuş ve sonuçlar analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Khadersab ve ark. (2014), bir elektrik motorunun modal analizini ANSYS 14.5 yazılımı kullanarak yapmışlardır. Elektrik motorunun, makinenin oluşturduğu ses seviyesine etki ettiğini düşünerek modal analiz uygulamışlar ve mod ve frekanslarını belirlemişlerdir. Sonuç olarak analiz ve test sonuçları karşılaştırılmış ve %9'luk bir hata payı bulunmuştur.

Sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı bir başka çalışmayı da Özer (2011) yapmıştır. Çalışmada, geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerde şekil verme operasyonları sonucunda oluşan geri yaylanmanın sonlu elemanlar yöntemi ile tahmin edilmesi ve telafisi amaçlanmıştır. Sayısal analiz sonuçları test sonuçları ile kıyaslanmıştır. Program olarak LSDYNA tercih edilmiştir.

Zhang, Ong ve Nee (2009)'nin çalışmasında, 3 eksenli bir CNC tezgahın simülasyonu yapılmıştır. Bu çalışma, bir operatörün simülasyon sisteminin prosesine, işleme parametrelerine ve işlemenin sonuçlarını gözlemlemesine olanak vermiştir. Olumsuz nokta olarak çalışmanın 3 eksenli sistemlere endeksli olması görülmektedir ve ilerleyen çalışmalarda rotasyonel sistemin analizi yapılması da planlanmaktadır.

Tezgah tasarımında en önemli parametrelerden biri elektrik motoru seçimidir. Sistemin sağlıklı ve yeterli çalışabilmesi için uygun elektrik motoru seçilmelidir. Benzer bir çalışmayı Türkeş ve Orak (2008) yapmıştır. Bu çalışmada, günümüzde talaşlı imalatta kullanılmakta olan konvansiyonel ve nümerik kontrollü takım tezgahlarında tezgah ana mili tahriki için güç, iş parçasının veya kesici takımın gerekli konumlandırılması için tezgah uzuv hareketlerini sağlayan sürücü sistemlerine, verim-performans ve kontrol teknikleri bakımından elektrik motoru seçiminin nasıl yapılacağı araştırılmıştır. Sonuç olarak, takım tezgahında kullanılacak motor tipi, takım tezgahının gerektirdiği torkla ve zaman cevabıyla ilgilidir. Bunun dışında tezgahın çalışma süresi, ortam özelliği ve hareket sağlama kabiliyeti gibi faktörler de hesaba katılmalıdır. Tasarımcı takım tezgahından istenilen kabiliyeti ve özelliği iyi bilmelidir.

CNC tezgahların tasarımından ve imalatından sonraki önemli bir adımı da bu sistemin kontrolünün sağlanmasıdır. Yeh ve ark. (2008) bu konuda bir çalışma yapmıştır. Lineer ve non-lineer olmak üzere iki sistem için de modüler algoritmalar içeren entegre hareket kontrol yapıları üzerinde çalışarak karşılaştırma yapmışlardır. Sonuç olarak lineer hareket kontrolleri oldukça yüksek hassasiyete ulaşabilmişlerdir.

Wang ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada fonksiyon blokları üzerinde durmuşlardır. Minimum seviyede planlanmamış duruş ile maksimum seviyede üretim yapabilmek için gerçek zamanlı üretim zekası ve bilgisi kullanmak gerekir. Bu nedenle makine izleme ve kontrolü için olay-güdümlü fonksiyon blokları kullanmak gerekmektedir.

3 eksenli CNC sondaj makinesinin uzaktan kontrol edildiği bağımsız ve düşük maliyetli bir platformun geliştirildiği bu çalışmada, Lal ve Onwubolu (2005), üretim sistemlerinin internet tabanlı olarak yönetilebileceğini göstermektedir. Fakat internet üzerinden iletişimin güvenilirliğinin garanti olmaması bu çalışmada soru işareti olarak kalmaktadır.

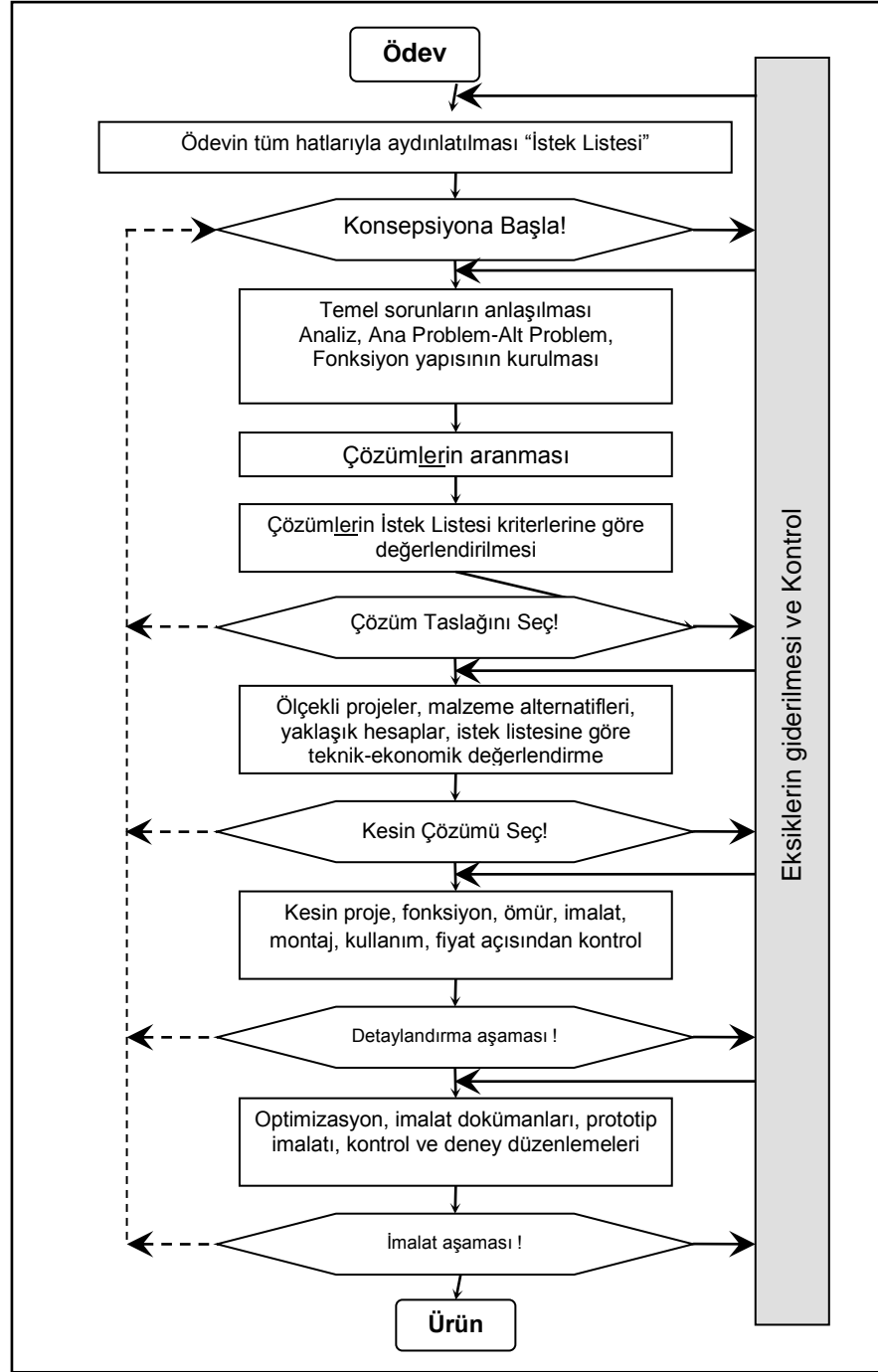
Conway ve ark. (2011) çalışmalarında, CNC makineler için çapraz bağlanmış (cross-coupled*) kontrollerin performans analizini incelemişlerdir. Sonuç olarak bu sistem CNC makinelerde bazı eksen hatalarına neden olmuştur. Kontrolör tipi optimum performans için etkili bir faktördür.

Li ve ark. (2013), operasyonel modal analizler doğrultusunda CNC makinelerin dinamik parametrelerine yaklaşımda bulunmuştur. Kesici takımlı tüm makinelerin dinamik özellikleri işleme kalitesini etkilemektedir. Bu çalışma, CNC makinelerde işleme sırasında operasyonel modal analiz konusunda yeni bir metot geliştirmektedir. Sonuç olarak bu teknik deneysel olarak onaylanmış ve operasyonel modal analiz metotları için tamamen kabul edilmiştir.

2. MATERYAL YÖNTEM

2.1 Metodik Konstrüksiyon Yaklaşımı

Tez çalışmasında Metodik Konstrüksiyon veya Sistematik Tasarım olarak isimlendirilen yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda proje bir “ödev” şeklinde düşünülmekte ve adım adım çözüme doğru belirli bir sistematik takip edilmektedir. Bu sistematik **Şekil 2.1**'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Konstrüksiyonda İşlem Adımları, (Babalık ve Çavdar, 2014)

Metodik konstrüksiyonda, konstrüksiyon işlemi dört ana bölümden oluşur;

- 1) Ödevin aydınlanması, istek listesinin hazırlanması

- 2) Olası tüm çözüm önerilerinin araştırılıp bulunması, öneriler arasından çözüme en uygununun belirlenmesi
- 3) Projelendirme
- 4) Detaylandırma ve dokümanların (teknik resim) hazırlanması

Birinci bölümde ödev açısından kesinlikle gerçekleştirilmesi gereken şartlar ile gerçekleştirilebilirse çözümün değerini arttıracak istekler yer alır. Ödevde bunlar tam ve açık olarak verilmediyse konstrüktör bunları belirlemek, öğrenmek zorundadır. Çünkü bir problemin çözülebilmesi, sorunun doğru olarak anlaşılabilmesine bağlıdır ve istek listesinin eksiksiz, yanlışsız hazırlanması gerekir. İstek listesinde yer alması gereken özellikleri gruplar halinde aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Babalık ve Çavdar, 2014):

- Kuvvet: İşletme esnasında karşılanması gereken kuvvetler, yük, yük tekrarı.
- Enerji: Güç, verim, ısınma sınırı, soğutma gerekliliği.
- Boyut: En küçük veya en büyük en, boy, yükseklik.
- Hareket: Hareket şekli (dönme, öteleme, git-gel), hız, yön, ivme.
- Malzeme: Mukavemet, esneklik, sertlik vb., korozyona vb. çevre şartlarına dayanım, yeniden değerlendirme-geri dönüşüm (recycling).
- Emniyet: İş, işçi, çevre emniyeti.
- Ergonomi: Kullanım için gerekli insan gücü, kumanda ve kontrol organlarının şekli, yerleştirilmesi gereken yerler, renk, aydınlatma, gürültü, titreşim, koku.
- Üretim: Üretim yöntemi, toleranslar, yüzey pürüzleri.
- Kontrol: Ölçü ve kontrol olanakları.
- Montaj: Üretim yerinde montaj - işletme yerinde montaj, makine temeli.
- İletim: Taşımanın şekli, taşıma için öngörülecek elemanlar, toplam boyut, toplam ağırlık.
- Bakım: Temizleme ve bakım programı, gerekli zaman aralıkları.
- Kullanım: Kolaylık - zorluk düzeyi, kullanım koşulları.
- Fiyat: Üretim maliyetinin sınırı, takım - yedek parça fiyatları.

- Zaman: Proje kademelerinin süresi, prototip üretim süresi, piyasaya sürme süresi.

Elbette yukarıda sayılanları tüm istekleri kapsayan maddeler olarak görmek doğru değildir. Projeden projeye daha az/daha fazla özellikler de söz konusu olabilir.

Çözüm önerilerinin bulunması için metodik konstrüksiyonda çeşitli yöntemler vardır. Bilgi bankalarından, çözüm kataloglarından yararlanma, beyin fırtınası, problemi soyutlaştırma vb. gibi ödevle karşı karşıya gelen konstrüktör, konuyla ilgili bilgi eksikliğini giderecek, sorunun özünü anlayacak, öğrendiği yöntemlerden yararlanıp yaratıcılığı ile çözüm önerileri bulacak, objektif teknik kriterlere göre önerileri değerlendirecek ve önerilerden birisi için kararını verecektir.

Projelendirme safhasında, seçilen çözüm prensibi sahip olunan teknolojik ve ekonomik olanaklar dikkate alınarak şekillendirilmeye başlanır. Malzeme seçimi, mukavemet hesapları da yapılarak çözüm önerisi nasıl bir ürün olacaktır belirlenir.

Son bölümde ise proje, uluslararası ve ulusal teknik kurallara, pazar isteklerine üretim olanaklarına göre, tüm detaylarıyla teknik resim ve parça listelerine dönüştürülüp, çözüm üretime hazır hale getirilir.

Konstrüktör ürünün başarısında veya başarısızlığında büyük sorumluluğa sahiptir. Tasarım üretimin ilk kademesi olduğundan konstrüktörün yönlendirmesinin doğruluğu veya yanlışlığı doğru çözüme çabuk ulaşma veya hiç ulaşamama gibi sonuçlar doğurur. Ekonomiklik, dayanıklılık, güvenilirlik, üretim kurallarına uygunluk, çevre koruyuculuk, insana ve çevreye uyum, atıklar ve artıkların yeniden değerlendirilebilmesi gibi bütün önemli kriterler konstrüksiyon süreci sonucunda çok büyük ölçüde belirlenmiş olur, (Babalık ve Çavdar, 2014).

2.2 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu Elemanlar Metodu, kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen veya fonksiyonel minimizasyonu olarak formüle edilebilen problemleri çözmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. İlgilenilen bölge sonlu elemanlar (Finite Element) topluluğu olarak gösterilmektedir. Sonlu elemanlardaki yaklaşık fonksiyonlar, araştırılan fiziksel alanın nodal değer terimlerinde belirlenmektedir. Sürekli fiziksel problem, bilinmeyen nodal değerli kesikli sonlu eleman problemine dönüştürülmektedir. Bu yöntemin uygulanması için basit yaklaşım fonksiyonları oluşturulmalıdır. Sonlu elemanlar metodu ile katı mekaniği, sıvı mekaniği, akustik, elektromanyetizma, biyomekanik, ısı transferi gibi alanlardaki problemler çözülebilir ve

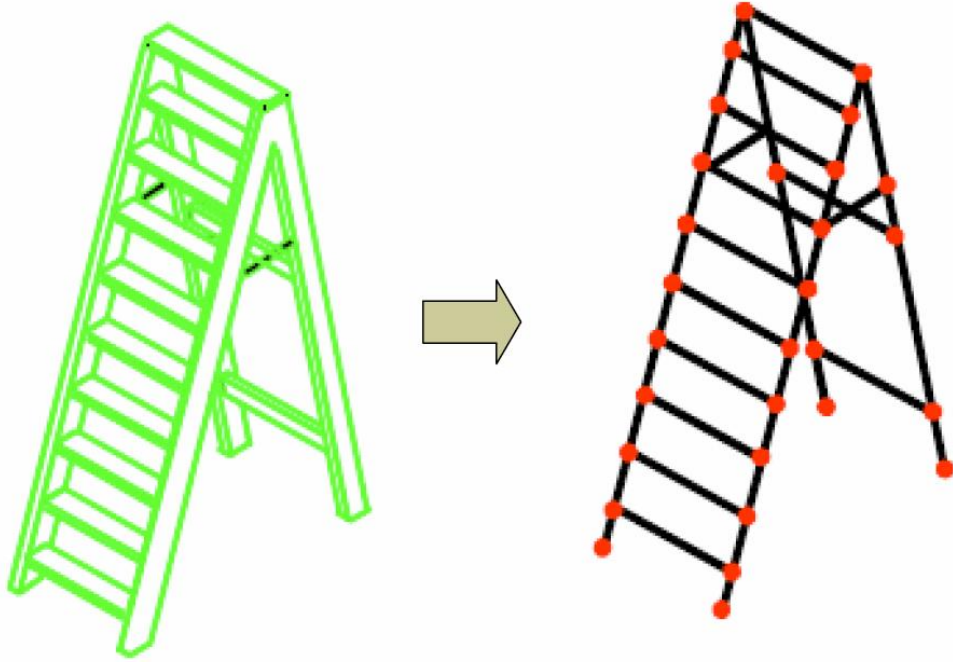
- Karmaşık sınır koşullarına sahip sistemlere,
- Düzgün olmayan geometriye sahip sistemlere,
- Kararlı hal, zamana bağlı ve özdeğer problemlerine,
- Lineer ve lineer olmayan problemlere

uygulanabilir(http://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_yontemi, 2014).

Sonlu elemanlar metodu çok güçlü ve çağdaş bir sayısal hesaplama yöntemidir. Son 40 yılda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutmaktadır. İlk kullanımı 1950'li yıllarda İnşaat Mühendisliği'nde olmuştur. Etkin kullanımı ise bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile mümkün olmuştur. Bu sayısal yaklaşım yöntemi her ne kadar orijinal olarak yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da dayandığı esasların genelliği dolayısıyla yöntem akışkanlar mekaniği, zemin mekaniği, uçak mühendisliği, nükleer mühendislik, kaya mekaniği, elektromanyetik alanlar, termal analiz ve daha sayabileceğimiz pek çok mühendislik ve fizik problemlerinin çözümünde araç olarak kullanılmaktadır.

Sonlu Elemanlar Analizi fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir. Sonlu elemanlar (SE) düzensiz ve karmaşık geometriye sahip

sistemlerin incelenmesine olanak sağlar. SEM değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde uygulanabilir. Örneğin, malzemenin heterojen (beton gibi) olması, anizotrop (ahşap gibi) olması, lineer olmayan malzeme, vs.



Şekil 2.2. Sonlu elemanlar modelinin oluşturulması (http://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_yontemi, 2014)

SEM işlem adımları;

- Yapı sonlu elemanlar ile modellenir (ayrıklaştırma)
- Sistemin global aksları, düğümlerin serbestlik (DOF) ve sınır şartları oluşturulur
- Elemanların rijitlik matrisleri lokal ekseninde oluşturulur $[k]$
- Elemanların rijitlik matrisleri lokal ekseninden sistem global eksenlerine çevrilir $[k']=[T'] [k] [k]$
- Global rijitlik matrisi oluşturulur $[K]$
- Elemanların yükleri düğüm noktalarına aktarılır
- Global yük vektörü oluşturulur $\{F\}$
- Sistem matris denklemleri çözülür (Gauss Eliminasyon)

$$[K]\{u\}=\{F\}$$

- [K]: Global Rijitlik Matrisi
- {u}: Bilinmeyen Deplasman vektörü
- {F}: Sağ taraf (kuvvet) vektörü

- Elemanların lokal deplasmanları global deplasmanlar vektöründen elde edildikten sonra iç kuvvetleri hesaplanır

Avantajları;

- Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) geometrisi karmaşık şekillerin incelenmesine olanak sağlar. Çözüm bölgesi alt bölgelere ayrılabilir ve değişik sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerekğinde bazı alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir,
- SEM değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin, anizotropi, nonlineer, zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleri dikkate alınabilir,
- Sınır koşulları, sistemin temel denklemleri kurulduktan sonra, oldukça basit satır sütun işlemleriyle denklem sistemine dahil edilebilir,
- SEM matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için aynı model kullanılabilir,
- Yöntemin hem fiziksel anlamı hem de matematiksel temeli mevcuttur

Dezavantajları;

- Bazı problemlere uygulanmasında bazı zorluklar vardır,
- Elde edilen sonucun doğruluğu verilerin doğruluğuna bağlıdır,
- Bir bilgisayara ihtiyaç duyar,
- Kabul edilebilir doğru sonucun elde edilmesi için bölgenin ayrıklaştırılması deneyim gerektirir,
- Diğer yaklaşık yöntemlerde olduğu gibi, SEY ile elde edilen sonucun doğruluğu üzerinde de dikkat edilmeli ve fiziksel problem iyi incelenmelidir.

Çıkabilecek sonuç önceden kestirilmeli ve sonuç ona göre test edilmelidir(http://www.yildiz.edu.tr/nazmiye/Sonlu_elemanlar_yontemi-sunu.ppt, 2014).

2.3 Hata Türleri ve Etkileri Analizi FMEA

Hata türleri ve etkileri analizi, FMEA; bir sistemin potansiyel hata türlerini analiz etmek için hataları olasılıklarına ve benzerliklerine göre sınıflandıran bir ürün geliştirme ve operasyon yönetim prosedürüdür. Başarılı bir hata türü analizi işi, benzer ürünlerin veya proseslerin geçmiş deneyimlerine dayanarak hata türlerinin tanımlanmasına yardımcı olur, bu hataların sistemden minimum kaynak kullanımı ve çabayla atılmasını sağlar ve bununla beraber geliştirme zamanını ve maliyetini düşürür. Genellikle üretim sektöründe ürünlerin çeşitli aşamalarında kullanılmakla beraber hizmet sektöründe de kullanım alanı artmıştır.



Şekil 2.3. Hata türleri ve etkileri analizi (http://tr.wikipedia.org/wiki/Hata_türleri_ve_etkileri_analizi, 2014)

FMEA'nın temel fikri hatayı sonradan bulmak ve düzeltmek (hata yönetimi) yerine hataları erkenden tanıyarak tedbirli bir şekilde önlemek ve tasarım aşamasından itibaren hataların olası nedenlerinin değerlendirilmesidir. Böylece aksi halde üretim aşamasında çıkan kontrol ve hata maliyetlerden ve hatta müşteri maliyetlerinden kaçınılabılır ve toplam maliyetleri azaltılabilir. Sistematik bir yaklaşımla ve bu yaklaşımdan gelen bilgilerle ayrıca tasarım hatalarının yeni ürün ve süreçlerde tekrarlanması önlenir.

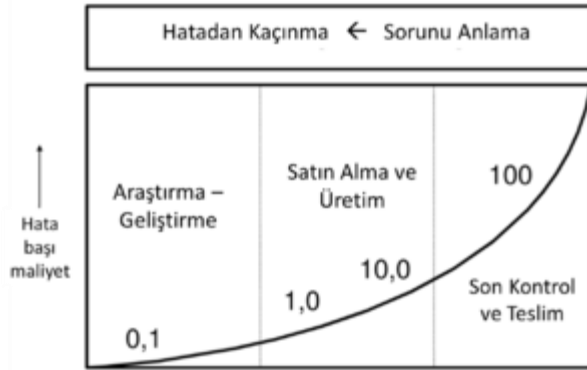
Bir sürecin, üretime hazır hale gelmesinin ardından veya üretime geçmiş bir proste, önemli olan sürecin veya ürünün güvenilirliğini sağlamaktır. Güvenilirlik ürünlerin veya proseslerin önemli bir özelliğidir. Aynı zamanda müşteri tatminini sağlamakta etkisi çok fazla olan bir faktördür. Müşteriler kullandıkları ürünün hizmet süresinin uzun ve aynı zamanda sorunsuz bir proses olmasını istemektedirler. Bu nedenle ürünün veya sürecin güvenilirliğini sağlamak için atılacak adım, ortaya çıkabilecek olan hataların türlerini ve bunların ürün ya da sürece etkilerini belirleyebilecek bir risk analizinin yapılması ve kurulacak veya kurulmuş olan bir sürecin güvenilirliğinin kontrol altına alınmasıdır (http://tr.wikipedia.org/wiki/Hata_türleri_ve_etkileri_analizi, 2014).

2.3.1 FMEA Türleri

Tasarım, Süreç ve Hizmet olmak üzere üç tür metot günümüzde kullanılmaktadır;

- Tasarım FMEA, potansiyel veya bilinen hata türlerini tanımlayan, ilk üretim gerçekleşmeden hataların tanımlanması ve düzeltici faaliyetlerin uygulanmasını sağlayan bir yöntemdir. Tasarım aşamasının başlarında sistemlerin, alt sistemlerin analizinde kullanılır. Tasarım hatalarından kaynaklanan, sistem fonksiyonları üzerindeki potansiyel hata türleri ile ilgilenir.
- Proses FMEA, Tasarım FMEA ve müşteri tarafından tanımlanmış olan kalite, güvenilirlik, maliyet ve verimlilik kriterlerini sağlamak için mühendislik çözümleri üretmeyi hedefleyen bir yöntemdir. Süreç FMEA

(veya P-FMEA) tasarım FMEA sonuçlarına dayalı üretim veya hizmet sürecinin zayıflıklarını ele alır.



Şekil 2.4. Hata maliyet gelişmesi (http://tr.wikipedia.org/wiki/Hata_türleri_ve_etkileri_analizi, 2014)

- Hizmet FMEA, müşteri hizmetlerini geliştirmek amacıyla üretim, kalite güvence ve pazarlama koordinasyonu ile uygulanan bir yöntemdir.
- Software FMEA, üretilen program kodu ile aynı görevi gerçekleştirir.
- Hardware FMEA, hedefi donanım ve elektronik alanında riskleri analiz etmek, değerlendirmek ve önlem alarak kapatmaktır.
- Sistem FMEA, bütün donanımların ve tasarımın tamamlanmasının sonrasında üretim, kalite güvence gibi sistemlerin akışını en elverişli hale getirmek için kullanılan bir yöntemdir. Sistem FMEA (veya S-FMEA) üstün bir sistemin alt sistemlerinin etkileşimlerini veya karmaşık bir sistemin çeşitli bileşenlerinin etkileşimini muayene etmektedir. Olası güvenlik açıklarının ve özellikle tek tek bileşenlerin etkileşiminden kaynaklanan ara yüzlerin belirlenmesini hedefler veya sistemin çevre ile etkileşimini inceler. VDA 2007' den dolayı sistem, hardware, software ve tasarım FMEA'lar ürün FMEA'ya birleştirildiler.

2.3.2 Uygulama

FMEA uygularken ilk önce farklı şirket fonksiyonlarının çalışanlarından bir ekip kurulur (disiplinler arası takım). Bunlara özellikle dahil edilmesi gerekenler yapımçı, geliştirmeci, deneyci, üretim planlayan, üretim yürüten, kalite yöneticisi, vb. Analiz sürecinin kendisi daha sonra standart formların kullanımı ile (QS-9000) ya da ilgili yazılım ile resmi bir şekilde (VDA 4.2) yapılır.

FMEA'nın içerdikleri:

- Ele alınan sistemin sınırlanması,
- Ele alınan sistemin yapılandırılması,
- Yapısal elemanların fonksiyonlarının tanımları,
- Doğrudan yapısal elemanların fonksiyonlarından elde edilen potansiyel hataların nedenlerinin, hata türlerinin ve hata dizilerinin analizi (Örneğin, W-sorular kullanarak)

Hata yerleri bulunarak, türü belirleyerek, hata sırasını tarif edip sonra da hata sebebini belirleyerek potansiyel hatalar analiz edilir. Hataların olası nedenlerini belirleyebilmek için genellikle bir neden-sonuç diyagramı oluşturulur. Tespit edilen hatalardan elde edilen kanıtları önlem olarak başka hatları önlemek için kullanmak mümkündür. Anlam (hata sırası, engl. Severity S), gerçekleşme ihtimali (hatanın nedeni, engl. Occurrence O) ve (hatayı veya sebebini, engl. Detection D) tespit etme oranı gibi anahtar rakamlar risk değerlendirmenin temelini oluşturur. Rakamlar 1 ile 10 arasında tam sayılı değerlerdir ve derecelendirme kataloglar yardımıyla verilir.

Risk öncelik numarasını (RPN) hesaplayarak, risklerin sıralamasını oluşturmak için bir girişim yapılır. RPZ B-, A- ve E- değerlendirme rakamların ($RPN = B * A * E$) çarpılmasıyla oluşturulur ve bu nedenle 1 ile 1000 arasında değerler alabilir. Bir

RPZ'nin aynı FMEA'nın başka bir RPZ'si ile karşılaştırıldığında en azından daha iyi/kötü gibi bir ifade çıkarması gerektirir.

Alınacak önlemler için öncelik elde etmek için, hataların önemin ve sırasının tahmini, RPZ'nin amacı sürekli sorgulanmaktadır. Ek veya alternatif olarak çalışmak için parametre (A * B) deneyleri de vardır.

Toyota'da kullanılan FMEA yönteminde DRBFM anahtar rakamların tanımını ihmal edilmektedir. Önlemler sadece sağduyu ya da takım tartışmanın bir sonucu olarak ortaya konmaktadır.

2.3.3 Önlemler

Önlemlerin hedefleri;

- Arızanın meydana gelme olasılığını azaltmak (örneğin gelişmiş bileşenlerinin yüklenmesi ile),
- Potansiyel hata keşfetme olasılığını, örneğin ek testler planlayarak, artırmak.

Risk değerlendirmesi artık sadece söz edilen RPZ tarafından mevcut FMEA içinde yer almaz, ama şu sırayla işlemler yapılır:

En yüksek önceliklerin yüksek önemleri vardır (10), sonra önemin ve meydana gelme olasılığın çarpımına bakılır (B * A). Buna aynı zamanda teknik risk ya da kritiklik denir (Değerlendirme rakamları için belirlenen katalogların göz önünde tutulması gerekir, A = x bir alanı gösterir, hata oluşma ihtimali için sabit ppm rakamı göstermez).Ancak o zaman RPZ kalan noktalar için öncelik tanır.

2.3.4 Değerlendirme

Disiplinler arası takımlar her noktayı "1"- "10" arası rakamlarla değerlendirir. Her zaman alt değerlendirme için yüksek değerlendirme ile modüle edilir. Daima yüksek değerlendirmeden düşük değerlendirmeye göre kademeler belirlenir.

- Meydana gelme olasılığı (Yüksek = „10“ten aza = „1“)
- Sebebin veya süreçte oluşan hatanın müşteriye teslim etmeden önceki keşfetme olasılığı (az = „10“dan yükseğe= „1“)
- Hata sırasının önemi veya yoğunluğu müşteri açısından değerlendirildiğinde (fazla = „10“ dan aza = „1“).

Burada FMEA'yı talep eden müşteri hem son kullanıcı hem de (şirket-içi) ara müşteri olabilir. Risk öncelik rakamları (RPN) önlem anlaşmasını sıralamak için geliştirme sürecinde kullanılabilir. RPZ tek başına potansiyel risklerin değerlendirilmesi için uygun değildir. Örneğin 120 değerinde bir RPZ çeşitli şekillerde oluşabilir $A \times B \times D = 10 \times 3 \times 4$ veya $5 \times 8 \times 3$. $B = 10$ ve $E = 4$ ile oldukça kötü değere sahip olan değer başka bir durumda anlamının $B = 5$ le ölçülen bir hata sırasında yüksek meydana gelme oranının ($A = 8$) olmasına karşı tespit oranı iyi ($E = 3$) olana karşı reddedilmelidir. FMEA örneği Şekil 2.5'de verilmiştir.

2.4 Makine Elemanları - Konstrüksiyon

Konstrüksiyon işlemi; mühendisin, temel bilimlere, mühendislik bilgi ve deneyimlerine dayanarak kendisine sorulan teknik bir probleme bir teknik sistem, makine veya onun parçası biçiminde, çözüm bulabilmek için ortaya koyduğu yaratıcı zihinsel faaliyetlerin tümüdür. Konstrüksiyonun son adımı teknik yapının üretilme olgunluğuna ulaşmış, teknik resim ve parça listesinden oluşan üretim dosyasıdır.

Konstrüksiyon işlemi bir fonksiyonun yerine getirebilmesi için gerekli teknik sisteme ilişkin çözüm önerilerinin ortaya konması olduğuna göre, fonksiyonun kapsamı ve karmaşıklık derecesine göre konstrüksiyonun kendisi de kapsam ve karmaşa açısından farklı olacaktır. Kapsamlı ve karmaşık bir konstrüksiyonun analizi yapıldığında görülecektir ki ana teknik sistem pek çok alt ve yan sistemlerden oluşmaktadır, her sistem de nihayet makine ve konstrüksiyon elemanı dediğimiz temel yapı taşlarından meydana gelmektedir.

Birbirlerinden çok farklı işleri de yapsalar, makinelerin bazı parçaları vardır ki, bunlar farklı makinelerin hemen hepsinde karşımıza çıkarlar.

Örneğin civata; uçakta, dikiş makinesinde, torna tezgahında, saatte, buhar türbininde ve daha pek çok makinede karşılaştığımız bir elemandır. Aynı şekilde kaynak başına; otomobilde, krikoda veya buhar kazanında da rastlıyoruz. Dişli çark, mil ve rulmanla da çeşitli makinelerde karşılaşıyoruz. Farklı makinelerde, farklı boyutlara sahip ve bazen de farklı malzemedен üretilmiş olarak rastladığımız, temelde yapıları, işlevleri aynı olan ve daha başka alt elemanlara ayrılamayan elemanlara Makine Elemanları diyoruz.

Makine içerisinde bir başka noktaya iletilen, başka enerji şekline dönüştürülen enerjinin miktarına göre veya çalışma esnasında dışarıdan gelen etkilere ve makinenin kendi kütlesine göre makine elemanlarına etki eden kuvvetler ve momentler farklı olacaktır. Bu farklılıklara göre elemanların boyutları ve malzemeleri de değişik olacaktır.

Örneğin bir saat mekanizmasında dişli çapı 5-6 mm, kalınlığı 1 mm'den küçük iken, bir taşıt dişli kutusundaki dişli çapı 200-300 mm, kalınlığı 10-30 mm olabilecek, ses cihazında ise dişli plastik malzemedен imal edilebilecektir.

Konstrüksiyon elemanları ise birden fazla yapı taşından oluşan, ancak işlev açısından elemanlarına ayırmadığımız alt sistemlerdir. Mil, kama ve dişli çark teker teker birer makine elemanıdır ancak bunlar bir araya gelip mil-göbek bağı oluşturduklarında konstrüksiyon elemanı adını alırlar (Babalık ve Çavdar, 2014).

2.5 CNC

Günümüzde insan iş gücü gereksinimini azaltmak ve seri imalata yani fabrikasyona geçebilmek için makineler ve bu makineler için takım tezgahları tasarlanmıştır. Makine sanayi ve otomotiv sanayinden sonra tarım makineleri imalatında da kullanılmaya gereksinim duyulmuştur. Bu tasarımcıların amacı başta da değindiğimiz gibi insan gücünü daha hızlı, güvenilir ve verimli aletlerle değiştirmek olmuştur. Uzun yıllar bu tezgahlarda köklü değişiklikler olmamıştır. Ama sürekli bir gelişme kaydedilmiştir. Çağımız bilgisayar teknolojisine bürünmesi, metal kesme işlerinde bir çağ açmış olmaktadır. Bu olay genellikle "Bilgisayar Destekli Nümerik Kontrol" olarak isimlendirilir. Kısa adlandırılması ise CNC'dir.

Nümerik kontrol fikri II. Dünya savaşının sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan kompleks uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Çünkü bu tür parçaların o günkü mevcut imalat tezgahları ile üretilmesi mümkün değildi. Bunun gerçekleştirilmesi için PARSONS CORPORATION ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) ortak çalışmalara başladı. 1952 yılında ilk olarak bir CINCINNATI-HYDROTEL freze tezgahını Nümerik Kontrol ile teçhiz ederek bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirdiler. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgahı imalatçısı Nümerik Kontrollü tezgah imalatına başladı. İlk önceleri NC takım tezgahlarında vakumlu tüpler, elektrik röleleri, komplike kontrol ara yüzleri kullanılıyordu. Ancak bunların sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerekiyordu. Daha sonraları NC takım tezgahlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlandı. Bilgisayar teknolojisinde ki hızlı gelişmeler Nümerik Kontrollü sistemleri de etkilemiştir. Artık günümüzde NC tezgahlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmıştır. ROM (Read Only Memory) teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanması mümkün oldu. Sonuç olarak bu sistemli gelişmeler CNC'nin (Computer Numerical Control) doğmasına öncülük etmiştir. CNC daha sonra torna, matkap vb. takım tezgahlarında yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol de (Computer Numerical Control) temel düşünce takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesi ve tezgah kontrol ünitesinin (MCU) parça programını elde edebilen sistemdir.

CNC takım tezgahlarının avantajları;

- Konvansiyonel tezgahlarda kullanılan bazı bağlama kalıp, master vb. elemanlarla kıyaslandığı zaman tezgahın ayarlama zamanı çok kısadır.
- Ayarlama, ölçü, kontrolü, manüel hareket vb. nedenlerle oluşan zaman kayıpları ortadan kalkmıştır.
- İnsan faktörünün imalatta fazla etkili olmamasından dolayı seri ve hassas imalat mümkündür.
- Kalifiye insan ihtiyacına gerek yoktur.
- Tezgah operasyonları yüksek bir hassasiyete sahiptir.
- Tezgahın çalışma temposu her zaman yüksek ve aynıdır.
- Her türlü sarfiyat (elektrik, emek, malzeme vb.) asgariye indirgenmiştir.
- İmalatta operatörden kaynaklanacak her türlü kişisel hatalar ortadan kalkmıştır.
- Kalıp, master, şablon vb. pahalı elemanlardan faydalanılmadığı için sistem daha ucuzdur.
- Depolamada daha az yere gerek vardır.
- Parça imalatına geçiş daha süratlidir.
- Parça üzerinde yapılacak değişiklikler sadece programın ilgili bölümünde ve tamamı değiştirilmeden seri olarak yapılır. Bu nedenle CNC takım tezgahlarıyla yapılan imalat büyük bir esnekliğe sahiptir.

CNC takım tezgahlarının dezavantajları;

- Detaylı bir imalat planı gereklidir.
- Pahalı bir yatırımı gerektirir.
- Tezgahın saat ücreti yüksektir.
- Konvensiyonel tezgahlarla kıyaslandığında daha titiz kullanım ve bakım isterler.
- Kesme hızları yüksek ve kaliteli kesicilerin kullanılması gerekir.
- Periyodik bakımları uzman ve yetkili kişiler tarafından düzenli olarak yapılmalıdır (<http://mudinmakine.com>, 2008).

2.6 CNC TASARIMI

2.6.1 Tasarım FMEA

Hata türleri ve etkileri analizinin bir türü de tasarım FMEA'dır. Yalnızca tasarımsal kriterlerinin ele alındığı ve çözümün tasarım kısmına dönülerek arandığı bu türde analiz tasarım çalışmalarından önce yapılır. CNC tasarımında FMEA, motor seçimi, karkası oluşturan profil tayini, sistemi oluşturan bağlantı elemanları ve CNC tezgahın çalışmasını sağlayan hareket elemanlarının analizi dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan FMEA çalışmasının tam hali Ek 1'de verilmiştir.

2.6.2 CNC Tezgah Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Analizi

2.6.2.1 Örnek Alınan Sistemler

Sistemin tasarımına başlamadan önce, benzer sanayi kurumlarındaki sistemler incelenmiş ve bazı durumlarda örnek olarak alınmıştır. Bunlardan biri, çalışmaya başlamadan önce incelenen, yine benzer şekilde sünger üretiminde kullanılan 3 eksenli CNC tezgahıdır (Şekil 2.6).



Şekil2.6. Örnek alınan CNC tezgah

Tasarım aşamasında sistemin kablo hattı ve kablo hattının konumlandırılması gibi bazı özellikleri için mevcut sistemler örnek olarak incelenmiştir (Şekil 2.7). Ayrıca sistemin kontrolünü sağlayacak bilgisayarın konumlandırılacağı tabla da mevcut sistemden örnek alınarak tasarıma yansıtılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil2.7. Kablo sistemi örneği



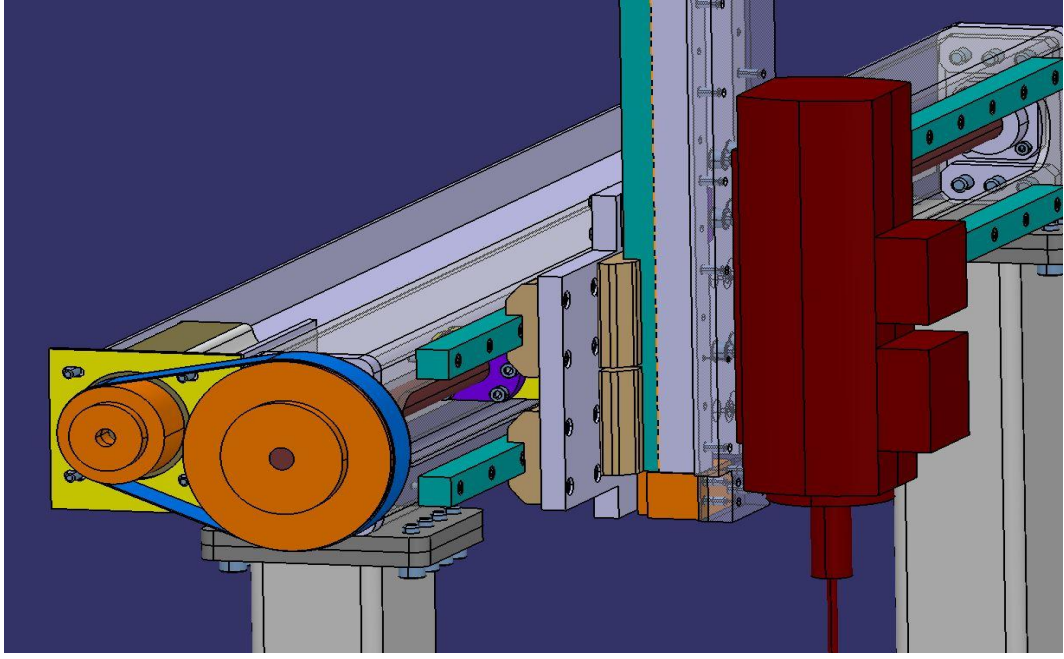
Şekil 2.8.Bilgisayar kontrol konum örneği

2.6.2.2 Tasarım Çalışması

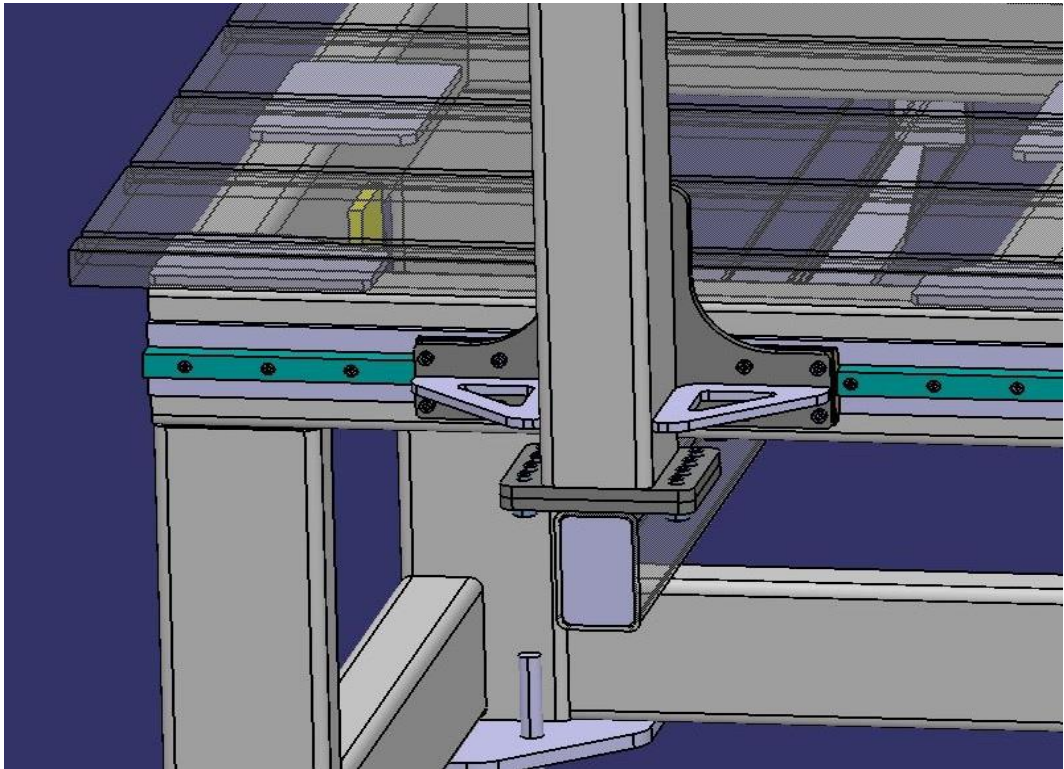
Tasarıma başlarken öncelikle tasarım FMEA yapılmış, daha sonra bazı örnek sistemler incelenmiştir. Ayrıca literatürde konu ile yakından ilgili çalışmalar mevcuttur. Diğer yandan, sonlu elemanlar paket programlarının yıllar içerisinde gösterdikleri gelişim, endüstriyel ve akademik çalışmalarda sonlu elemanlar yöntemini vazgeçilmez hale getirmiştir. Tasarım tamamlandıktan sonra, tezgahın imalatına geçmeden sonlu elemanlar analizi yardımı ile sistemin modal analizi yapılacaktır.

Tez kapsamında tezgah tasarım çalışmalarında CATIA V5 R19 programı kullanılmıştır. Tasarım çalışması önce bir taslak model olarak başlamış, daha sonra detaylandırılarak devam etmiştir. Burada, kullanılan tasarım programı CATIA'nın daha sonra yapılacak müdahalelere izin veren yapısı tasarım kolaylığı bakımından önemlidir.

Öncelikle sistemde kullanılacak motorlar, rulmanlar, kızak mekanizmaları, kayış – kasnak mekanizmaları ve sonsuz vida mil mekanizmaları kabaca modellenmiştir. Daha sonra ürün spesifikasyonları ve kataloglar yardımıyla kullanılacak ürün ve mekanizmalar seçilmiştir. Seçim sırasında ürünlerin satıcı firmalarından destek de alınmıştır. Bu firmaların ürünler ve CNC tezgahlar üzerindeki bilgi ve tecrübesi tez kapsamındaki çalışma için önemli olmuştur. Kızak ve kayış – kasnak mekanizmalarına ait taslak tasarım modelleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da görülebilir.

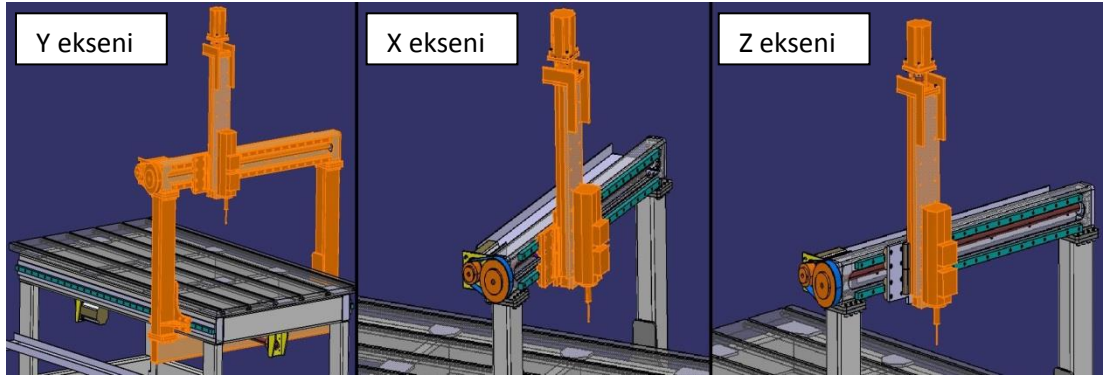


Şekil 2.9. Kayış – kasnak mekanizmalarının ön tasarımı



Şekil 2.10. Kızak mekanizmalarının ön tasarımı

Servo motorların seçimi için, motorların ayrı ayrı taşıyacağı sistemin ağırlığı göz önünde tutulmuştur (Şekil 2.11 a, b, c). Y ekseninde hareket ettirilecek metal kütle'nin ağırlığı 130 kg'dır. 2 adet servo motor ve 1 adet spindle motor ile toplam ağırlık 160 kg olacaktır. Bu ağırlık değeri, 2 adet kızak rayı ve 4 adet kızak arabasından oluşan kızak sisteminin üzerinde taşınacak sistemin ağırlığıdır ve birinci servo motorun seçiminde göz önünde bulundurulacaktır. X ekseninde hareket ettirilecek metal kütle'nin toplam ağırlığı ise 53 kg'dır. Yine bu sistem de 2 adet kızak rayı ve 4 adet kızak arabasından oluşan kızak sistemi üzerinde taşınacaktır. Aynı şekilde Z ekseninde hareket ettirilecek metal kütle'nin toplam ağırlığı 42 kg'dır.



Şekil 2.11. a, b, c. 3 ayrı motorun taşıyacağı konstrüksiyon

Z ekseninde çalışacak sistem, diğer kızak mekanizmaları ile aynı olsa da çalışma yönü Z doğrultusunda olacaktır ve bu da sistemin kendiliğinden aşağı yönde hareket etmesine neden olabilir. Bu sebepten dolayı Z eksen servo – motoru frenli model seçilecektir.

Servo – motorların seçiminde ESTUN servo – motor firmasının hesaplamalarından faydalanılacaktır. Şekil 12'de belirtilen sisteme göre;

Taşınacak kütle (M): 160 kg

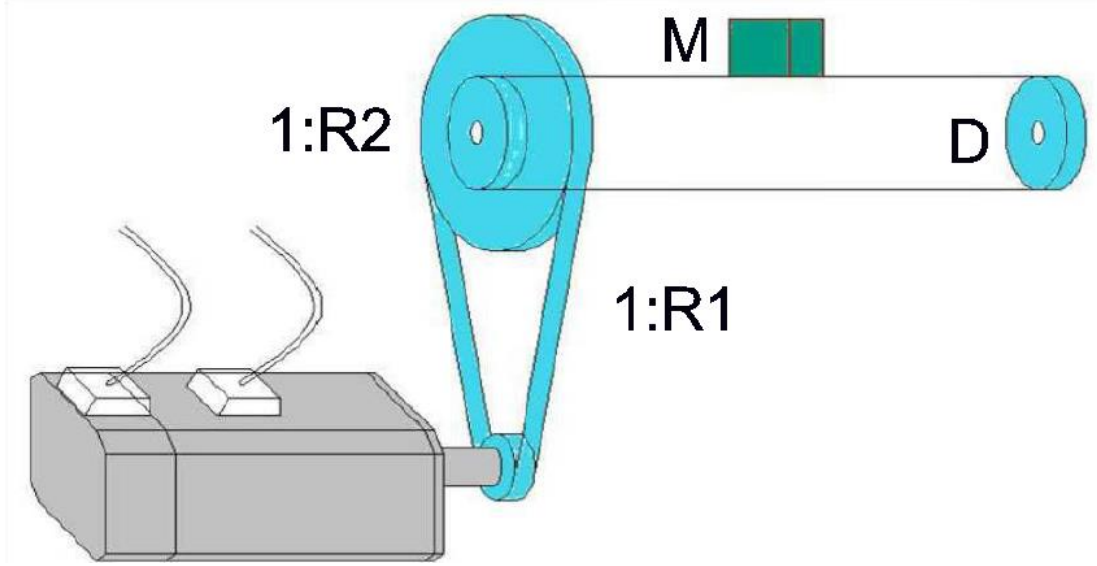
Kasnak çapı (D): 32 mm

R1/R2: 0,5

Tezgah ve yük arasındaki sürtünme katsayısı (μ): 0,6

Yük hızı: 30 m/dk

Yük ivmesi: 200 ms



Şekil 2.12. ESTUN servo – motor seçimi için hesaplama (www.estun.com)

- Motor mili üzerindeki atalet yükü; (www.estun.com)

$$JL = M \times \frac{D^2}{4} / R_1^2 = 160 \times \frac{3,2^2}{4} / 10^2 = 4,096 \text{ kg.cm}^2$$

Atalet yükü <20 olduğu için motor rotor ataleti;

$$JM > 0,9 \text{ kg.cm}^2$$

- Yükü hareket ettirecek motor torku; (www.estun.com)

$$\begin{aligned} \text{Sürtünme torku; } T_f &= M \times g \times \mu \times \frac{\frac{D}{R_2}}{R_1} = 160 \times 9,8 \times 0,6 \times \frac{\frac{0,016}{2}}{10} \\ &= 0,75264 \text{ N.m} \end{aligned}$$

$$\text{İvme torku; } Ta = M \times a \times \frac{\frac{D}{R2}}{R1} = 160 \times (30/60 / 0,2) \times \frac{0,016}{10}$$

$$= 0,32 \text{ N.m}$$

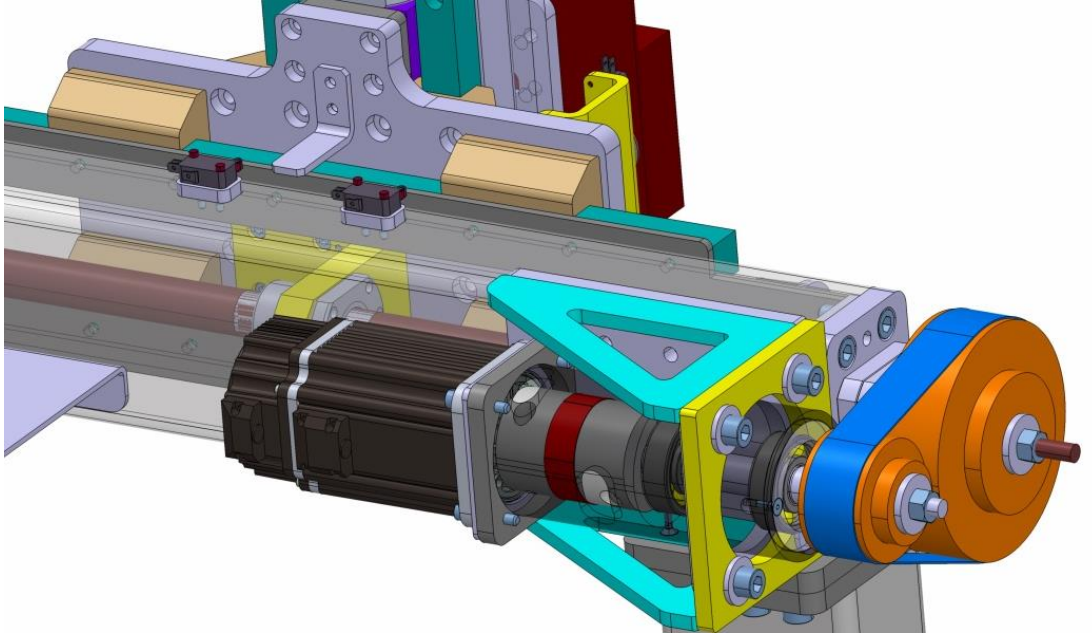
Servo – motor torku > Tf, Maksimum tork > Tf + Ta

$$\text{- Motor dönme hızı; } N = \frac{v}{\pi D} \times R^1 = \frac{30}{3,14 \times 0,032} \times 10$$

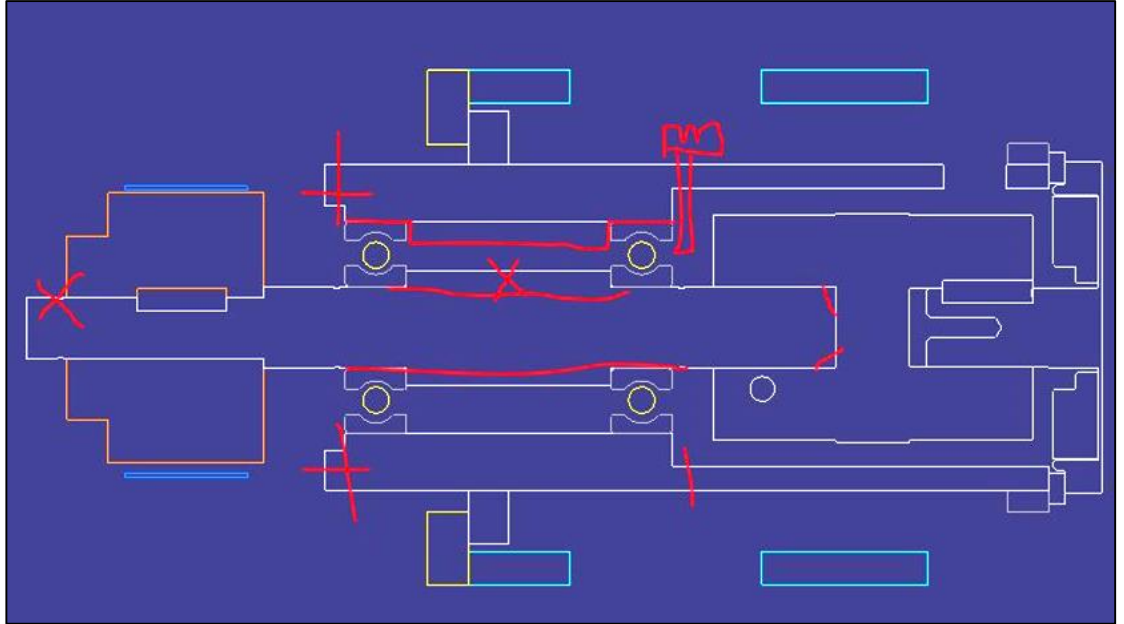
$$= 3055 \text{ rpm}$$

Bu hesaplamalarla kataloga başvurarak EMJ-08 modeli servo motor seçilmiştir. Z ekseninde kullanılmak üzere EMJ-08 frenli servo motor modeli seçilmiştir (<http://estun.vip.88isp.cn/en/product/ac-servo-system-motion-control-system/ac-servo-motors/emj-ac-servo-motor.html>).

Servo – motor seçimi yapıldıktan sonra, servo – motordan kızak mekanizmasına kadar olan hareket iletim sistemine karar verilebilir (Şekil 2.13). Servo motordan hareketi ilk olarak iletecek makine elemanı kavramadır (kaplin). Katalogda geçen $n_{\max} = 10600 \text{ rpm}$ ve $J = 74,9 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$ değerleri göz önünde bulundurularak 24/28 ürünü seçilmiştir. Kavramanın ardından, hareketi iletirken aynı zamanda servo – motor sisteminin dengede kalmasını sağlayacak rulman çifti seçimi yapılmıştır. Kullanılan mil çapına uygun rulmanlar (SKF 6304) sistemde kullanılmıştır. Kayış – kasnak mekanizmasında, malzeme özellikleri bakımından 8M ürünü seçilmiştir. Kasnaklar arasında $\frac{1}{2}$ oranı ile hareket iletimi sağlanmıştır. Bu şekilde motorun etkinliği artırılmıştır. Söz konusu servo – motor– kızak mekanizması arasındaki sisteme karar verildikten sonra pozisyonlama ile ilgili olarak bir tasarım gözden geçirme yapılmıştır (Şekil 2.14). Burada ortaya çıkan sonuçlar ile tasarımda revizyona gidilmiş ve en uygun olacak sistem modellenmiştir.

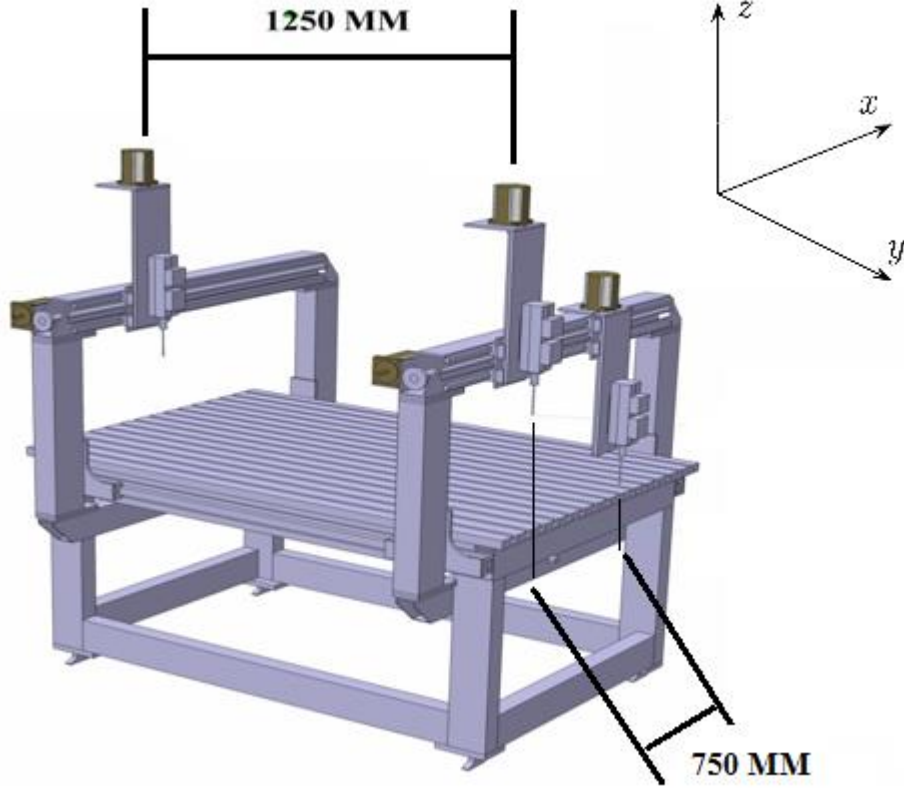


Şekil 2.13. Servo – motor – kızak mekanizması arasındaki hareket iletim sistemi



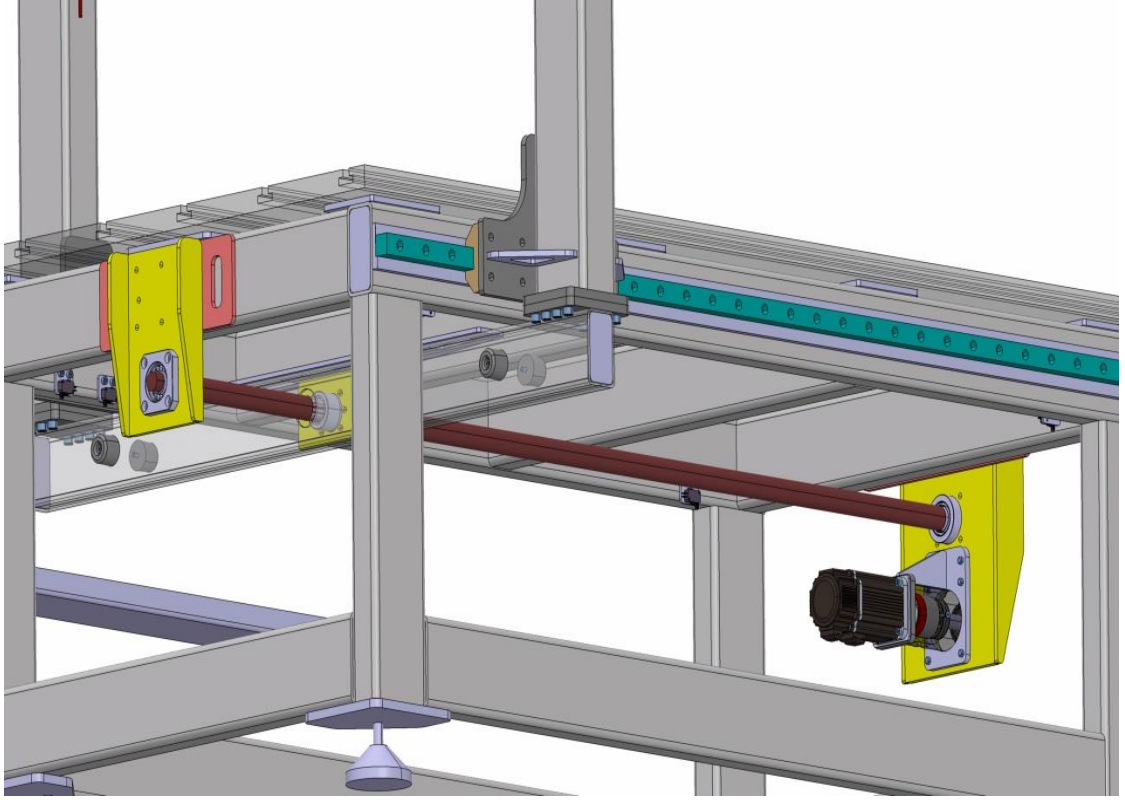
Şekil 2.14. Servo – motor – kızak mekanizması sistem tasarım gözden geçirme

Tasarımı etkileyen bir diğerkonu da, CNC tezgahın işleme kurslarıdır. Tezgahın ebatları, maksimum işlenmesi gereken koltuk süngeri ölçülerine göre belirlenmiştir. Daha sonra bu ölçüler ile tezgahın hareket kabiliyeti ortaya çıkmıştır ve bazı ürünler bu özelliğe göre belirlenmiştir (Şekil 2.15).

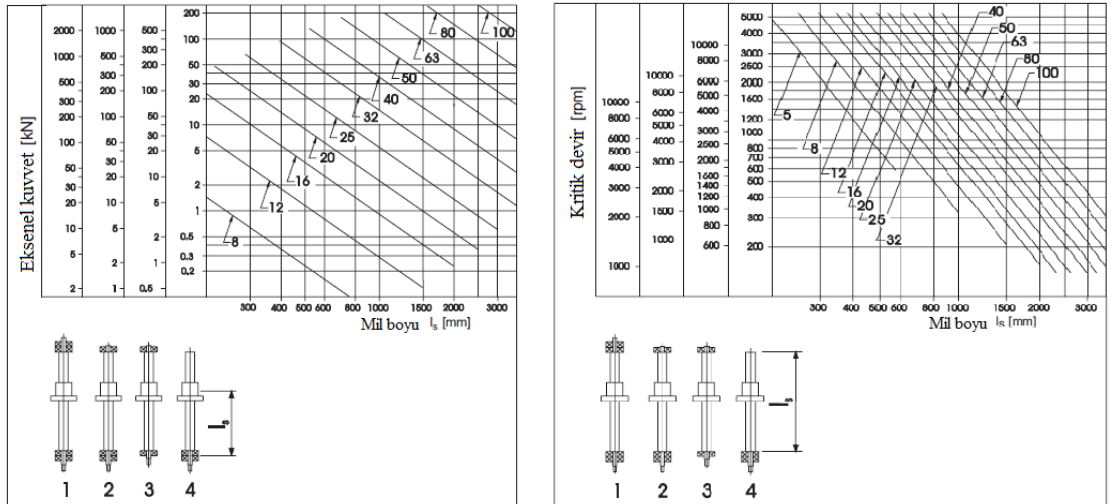


Şekil 2.15. CNC tezgah işleme kursları

Kızak mekanizmalarına hareketi ileten ara sistem sonsuz vida mil sistemleridir. X, Y, Z eksenlerindeki farklı çalışma ağırlıklarına uygun olarak farklı vida mil sistemi kullanılmıştır. Burada fark yaratan durum sonsuz vidalı milin çapıdır. Y ekseninde 32 mm, X ekseninde 25 mm ve Z ekseninde de 20 mm çapında mil kullanılmıştır (Şekil 2.16).

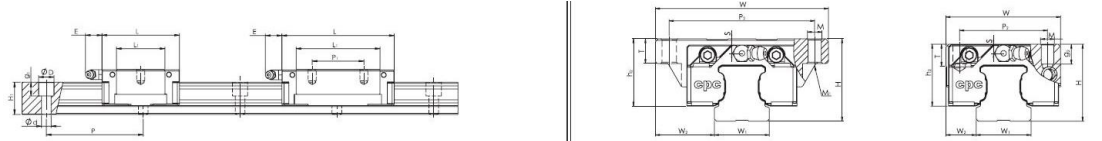


Şekil 2.16. Y eksenli sonsuz vida mil mekanizması tasarımı



Şekil 2.17. Sonsuz vida mil seçim tablosu (http://www2.steinmeyer.com/data/media/ca_8333.pdf)

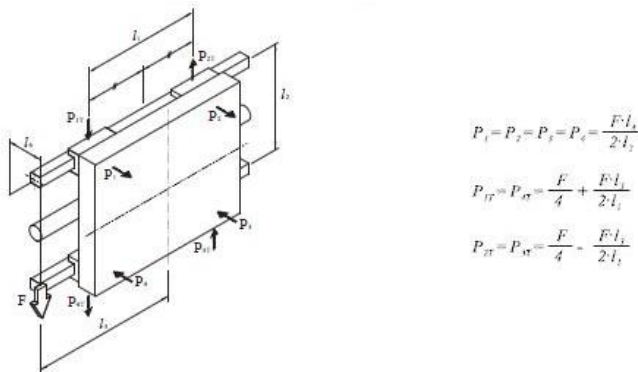
Sistemde iki farklı kızak ve kızak arabası kullanılmıştır. Daha fazla yüke maruz kalan Y ekseninde ARC30, X ve Z eksenlerinde ise AR25 ürünü kullanılmıştır (Şekil 2.18).



AR Automation Series

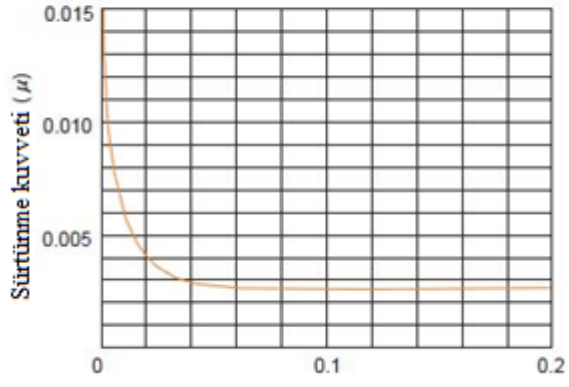
Model Code	Fabrication Dimensions			Rail Dimensions (mm)			Block Dimensions (mm)					Block Dimensions (mm)			Load Capacities (KN)		Static Moment (Nm)			Weight		Model Code			
	H	W ₂	W ₁	H ₁	P	D×d×g ₁	W	L	L ₁	P _{1z}	P _{1x}	P ₂	E	M×g ₂	M1	S	T	C _{100h}	C ₀	M _{1h}	M _{1p}		M _{1y}	Block(g)	Rail(g/m)
AR 15 MS	24	9.5	15	15	60	7.5x4.5x3.3 (6x3.5x4.5)	34	40.8	24.2	20.1	-	26	4.5	M6x7		4	6	6.40	10.80	80	40	40	95	1290	AR 15 MS
AR 15 MN	24	9.5	15	15	60		34	56.1	39.5	20.1	26	26	4.5	M6x7		4	6	9.00	17.50	140	100	100	140		AR 15 MN
AR 15 FS	24	18.5	15	15	60		52	40.8	24.2	20.1	-	41	4.5	M5x7	M4	4	7	6.40	10.80	80	40	40	120		AR 15 FS
AR 15 FN	24	18.5	15	15	60		52	56.1	39.5	20.1	26	41	4.5	M5x7	M4	4	7	9.00	17.50	140	100	100	180		AR 15 FN
AR 20 MS	28	11	20	20	60	9.5x6x8.5	42	48.2	30	22.5	-	32	12	M5x7		3.5	8	10.90	16.30	170	80	80	170	2280	AR 20 MS
AR 20 MN	28	11	20	20	60		42	70.2	52	22.5	32	32	12	M5x7		3.5	8	15.60	29.80	310	220	220	260		AR 20 MN
AR 20 FS	28	19.5	20	20	60		59	48.2	30	22.5	-	49	12	M6x9	M5	3.5	9	10.90	16.30	170	80	80	210		AR 20 FS
AR 20 FN	28	19.5	20	20	60		59	70.2	52	22.5	32	49	12	M6x9	M5	3.5	9	15.60	29.80	310	220	220	360		AR 20 FN
AR 25 MS	33	12.5	23	23	60	11x7x9	48	57.2	37	26.6	-	35	12	M6x9		5	8	12.30	21.20	220	110	110	285	3020	AR 25 MS
AR 25 MN	33	12.5	23	23	60		48	80.2	60	26.6	35	35	12	M6x9		5	8	18.80	36.40	410	300	300	380		AR 25 MN
AR 25 FS	33	25	23	23	60		73	57.2	37	26.6	-	60	12	M8x10	M6	5	10	12.30	21.20	220	110	110	335		AR 25 FS
AR 25 FN	33	25	23	23	60		73	80.2	60	26.6	35	60	12	M8x10	M6	5	10	18.80	36.40	410	300	300	440		AR 25 FN
ARC 30 MN	42	14	28	27	80	14x9x12	60	97.5	71.5	35.4	40	40	12	M8x10		7.5	12	32.70	58.90	770	520	520	800	4380	ARC 30 MN
ARC 30 FN	42	31	28	27	80		90	97.5	71.5	35.4	40	72	12	M10x12	M8	7.5	12	32.70	58.90	770	520	520	1150		ARC 30 FN

Şekil 2.18. Seçilen kızak sistemlerinin ölçü tablosu ([http://www.chieftek.com/download/ARCHRCERC Catalog\(EN\).pdf](http://www.chieftek.com/download/ARCHRCERC Catalog(EN).pdf))



Şekil 2.19. Kızak arabasına gelen yükler ([http://www.chieftek.com/download/ARCHRCERC Catalog\(EN\).pdf](http://www.chieftek.com/download/ARCHRCERC Catalog(EN).pdf))

$$F = \mu \times P + f$$



Şekil 2.20. Kızak arabası yük – sürtünme eğrisi ([http://www.chieftek.com/download/ARCHRCERC_Catalog\(EN\).pdf](http://www.chieftek.com/download/ARCHRCERC_Catalog(EN).pdf))

2.6.2.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modal Analiz

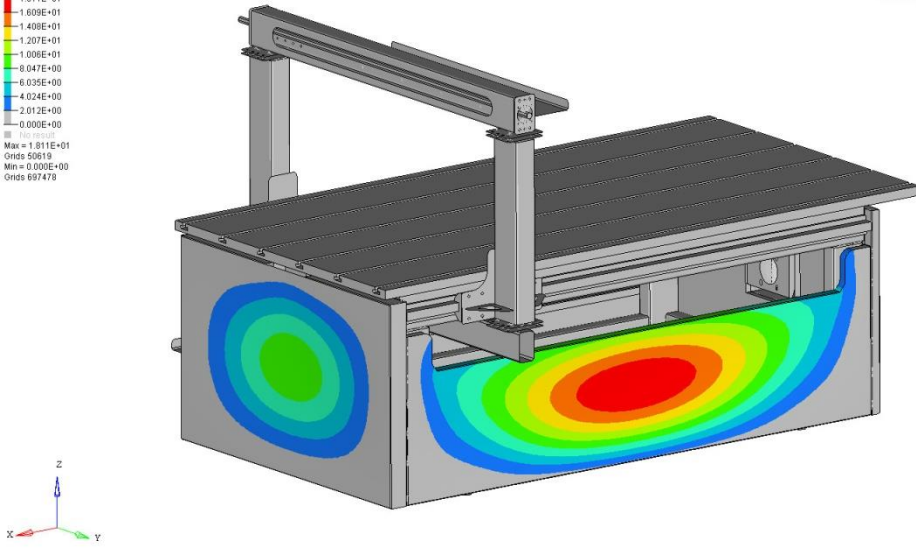
Tasarım sonrası doğrulama ve imalata geçmeden önce deneysel olarak sistemin kontrolü için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Bu sayede sistemde oluşabilecek kritik frekanslar tayin edilmiştir.

Modal analiz hesabı için Hypermesh sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Yazılımın amacı geometrik modeli küçük parçalara bölerek her bir parçaya kuvvet etkisiyle analiz yapmaktır. Burada, CNC tezgahı oluşturan profiller, sac parçalar, motor tahrik sistemi ve aktarım elemanları ve bağlantı elemanları Hypermesh yazılımı ile modellenecektir. Tasarımdan gelen geometrik modeldeki sac parçalar CQUAD4 elemanlarla, mil, raylar ve tabla ise CHEXA elemanlarla Hypermesh sonlu eleman modelleme programı kullanılarak modellenmiştir. Cıvata ve kaynak bağlantıları RBE2 elemanlar ile tanımlanmıştır. Motor tahrik sisteminin ağırlığı noktasal kütle olarak sisteme dahil edilmiştir. Hesaplama kullanılan eleman boyutu ortalama olarak 8 mm olarak alınmıştır. Bunun sonucunda model 296184 eleman 340200 düğüm noktasından oluşmuştur. Elemanların hazırlanması, yanlış oluşabilecek elemanların düzeltilmesi ve kullanılan bilgisayarın performansına bağlı olarak tüm bu eleman ve düğüm noktalarının oluşumu oldukça zaman almıştır. Daha sonra sistemde, doğal frekans analizi için CNC tezgahın tabana oturduğu yüzeylerden tüm doğrultular için serbestlik derecesi kısıtlaması yapılmıştır.

Bilgisayar yardımıyla nümerik hesaplama sonucunda sistemin ilk 20 modu bulunmuştur. Bulunan modlardan ilk 3 tanesi şu şekilde sonuçlanmıştır; 1. Mod 18 Hz (Şekil 2.21), 2. Mod 19 Hz (Şekil 2.22) ve 3. Mod 23 Hz (Şekil 2.23)'tir.

Contour Plot
Eigen Mode(Mag)
Analysis system
1.811E+01
1.609E+01
1.408E+01
1.207E+01
1.006E+01
8.047E+00
6.035E+00
4.024E+00
2.012E+00
0.000E+00
0.000E+00
Max = 1.811E+01
Grids 50619
Min = 0.000E+00
Grids 697478

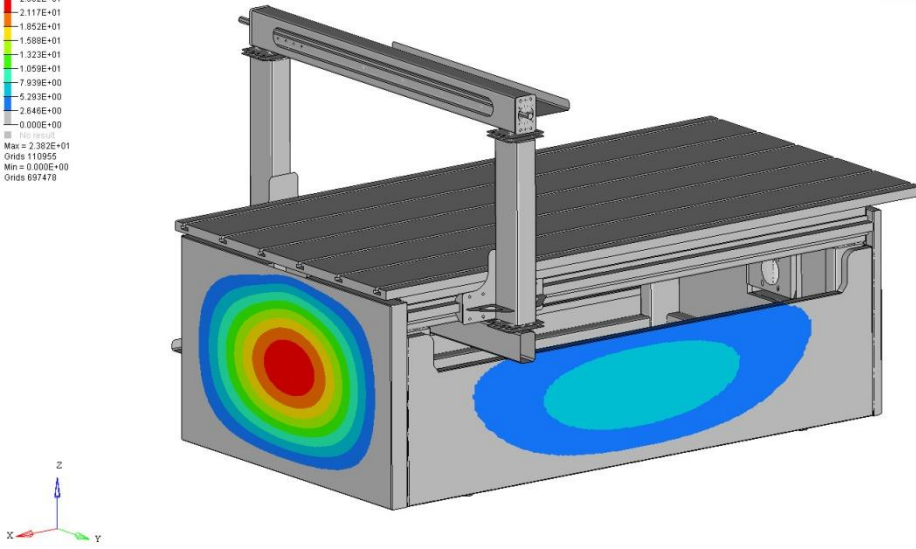
Model info: D:\3_EKSEN_CNC_MODAL_ANALIZ_24072014\kontakt_deneme\kontakt_deneme.h3d
Result: D:\3_EKSEN_CNC_MODAL_ANALIZ_24072014\kontakt_deneme\kontakt_deneme.h3d
Subcase 1 (modal) : Mode 1 - F = 1.892327E+01
Frame 8 : Angle 315.000000



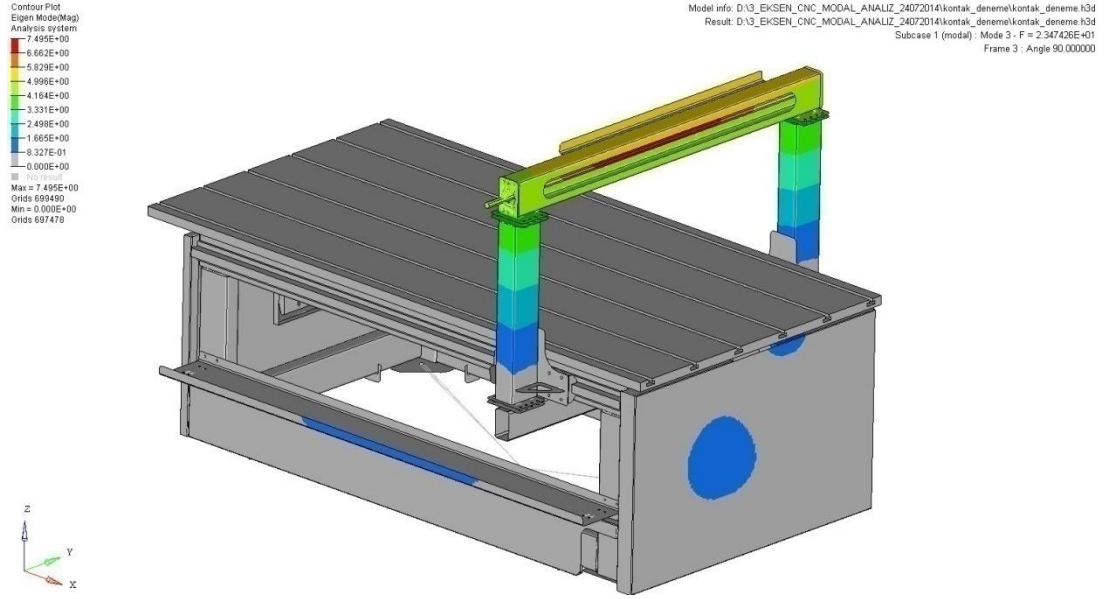
Şekil 2.21. Mod Frekans Değeri 18 Hz

Contour Plot
Eigen Mode(Mag)
Analysis system
2.382E+01
2.117E+01
1.852E+01
1.588E+01
1.323E+01
1.059E+01
7.938E+00
5.283E+00
2.646E+00
0.000E+00
0.000E+00
Max = 2.382E+01
Grids 110955
Min = 0.000E+00
Grids 697478

Model info: D:\3_EKSEN_CNC_MODAL_ANALIZ_24072014\kontakt_deneme\kontakt_deneme.h3d
Result: D:\3_EKSEN_CNC_MODAL_ANALIZ_24072014\kontakt_deneme\kontakt_deneme.h3d
Subcase 1 (modal) : Mode 2 - F = 1.909796E+01
Frame 3 : Angle 90.000000



Şekil 2.22. Mod Frekans Değeri 19 Hz



Şekil 2.23. Mod Frekans Değeri 23 Hz

Bulunan bu frekans değerleri sistemin çalışması açısından sakıncalı durumları belirtmektedir. Motor seçimi ve tezgah motorlarının çalışma değerleri bulunan frekans değerleri ile çakışmayacak şekilde seçilmelidir. Anlaşıldığı üzere modal analiz, bir tasarımın doğrulanması açısından oldukça önemlidir.

2.6.3 İmalat

Tüm bu hesaplar ve daha sonrasındaki tasarım çalışması ve neticesinde sonlu elemanlar analizi ile sistemin doğrulanması sonucunda artık üç eksen hassas CNC freze tezgahın imalatına geçilebilir. İmalat adımları şu şekildedir; montaj sırasında kullanılacak tüm parçaların (sac parçalar, profiller, motor, rulman ve vidalı mil gibi özel ürünler) temin edilmesi (Şekil 2.24), profillerin kaynatılarak karkasın oluşturulması ve karkasın üzerine sac parçaların kaynatılması, sac parçalara hareket iletimi sağlayan ekipmanların montaj edilmesi, motorlara elektrik iletimini sağlayacak kabloların montajı ve güvenlik ekipmanlarının eklenmesi.



Şekil 2.24. Temin edilen sac parçalar

Bu doğrultuda çalışmaya sac parçalar ve profillerin işlenmesiyle başlanmıştır. Öncelikle sac parçaların ve profillerin birbirine temas edilecek yüzeylerinden talaş kaldırılarak yüzey temizliği sağlanmıştır. Daha sonra tasarımdan gelen geometri doğrultusunda delikler açılmış ve gerekli deliklere diş açılmıştır (Şekil 2.25). İmalat konusunda Martur firmasının mevcut CNC parkından faydalanılmıştır.



Şekil 2.25. Kullanılacak ürünlerin CNC’de işlenmesi

Parçaların oldukça hassas toleranslarda işlenmesi gerektiğinden bazı sıkıntılarla da karşılaşmıştır. Yüzey pürüzsüzlüğü sağlanamayan bazı sac parçalar yeniden işlenmesi gerekmiştir. Diğer bir sıkıntı da delik açımalarında yaşanmıştır. Kalın sac parçaların işlenmesi sırasında takım ucu kırılmış ve yeniden işlem görmesi gerekmiştir.

CNC tezgahlardaki işlemler tamamlandıktan sonra kaynak işlemlerine geçilmiştir. Öncelikle profiller kaynatılarak karkas şekillenmiştir (Şekil 2.26). Karkas hazırlandıktan sonra büyük CNC tezgahlarda hassas olarak işlenmiştir. Bunun nedeni karkasın üzerine montajı yapılacak parçaların yüzeylerinin tam oturması için hassasiyet sağlanmasıdır. Burada kullanılan tezgahın tabla boyutu yaklaşık olarak 10 m²'dir.



Şekil 2.26. Profillerin kaynatılarak karkas haline getirilmesi

Tasarıma uygun şekilde hassas olarak işlenen sac parçaların örnekleri Şekil 2.27'de gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra ayrı olarak hazır olan tüm parçaların montajına geçilmiştir. Montaj sıralaması tasarım çalışması sırasında belirlenmiş ve bu sıralamaya uygun olarak yapılmıştır. Bazı parçaların çalışma koşullarına göre montaj şekli ve sıralaması oldukça önemli olduğu için bu konuya özen gösterilmiştir. Genel bir teknik resim hazırlanarak sıralama takip edilmiştir.



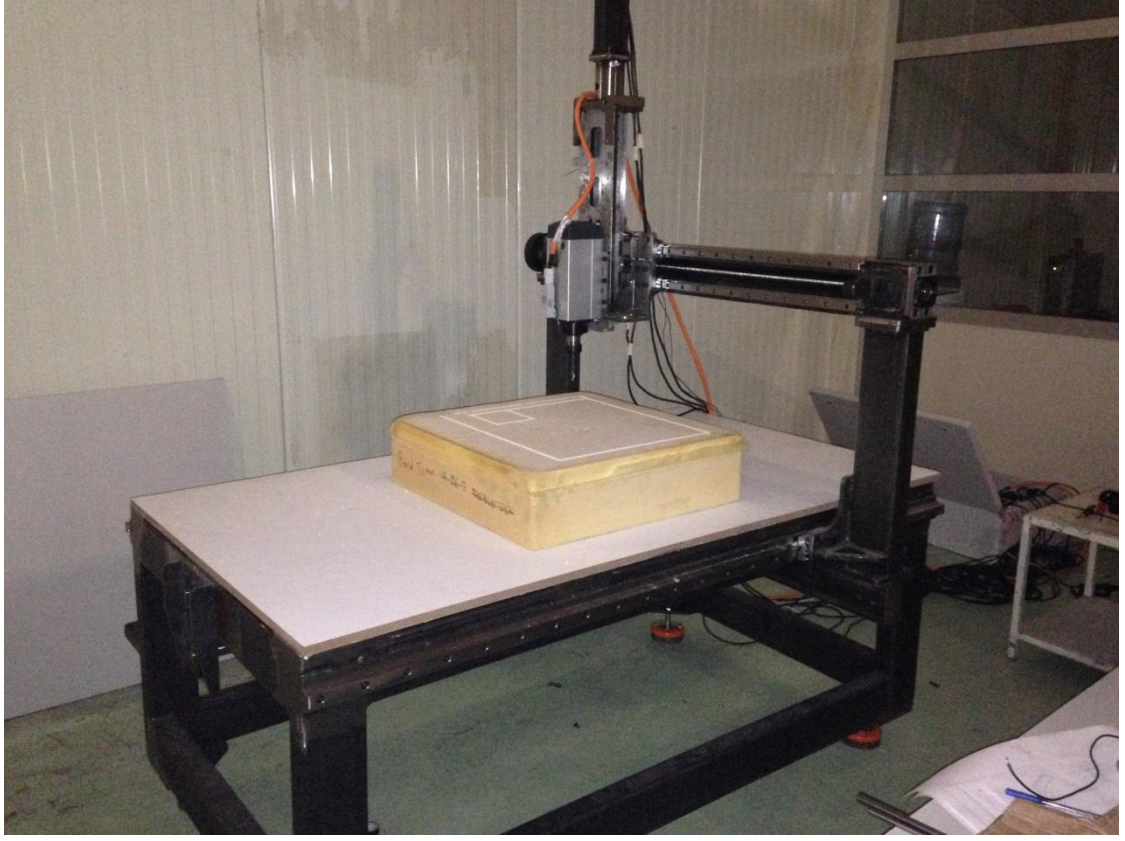
Şekil 2.27. Hassas olarak işlenen sac parçalar

Hazırlanan teknik resmin içeriği hataya neden vermeyecek şekilde tüm ayrıntılarıyla ifade edilmiştir. Bu sayede tasarımın hiçbir şekilde dışına çıkılmasına izin verilmemiştir. Montaj sırasında her ne kadar tecrübeye ihtiyaç duyulsa da zaman kaybını engellemek ve hatasız olarak daha verimli çalışmak adına böyle bir yöntem izlenmiştir. Montaj çalışmasından bir fotoğraf Şekil 2.28’de verilmiştir.



Şekil 2.28. Montaj çalışması

Montaj çalışmaları tamamlandıktan sonra ilk denemelere geçilmiştir. Denemelerde basit şekillerden başlanarak daha sonra karmaşık şekillere geçilmiştir. Motor dönme hızı gibi etkenler üzerinde ayarlar yapılarak uygun çalışma şartlarına getirilmiştir. Deneme çalışmalarından bir örnek fotoğraf Şekil 2.29'da verilmiştir.

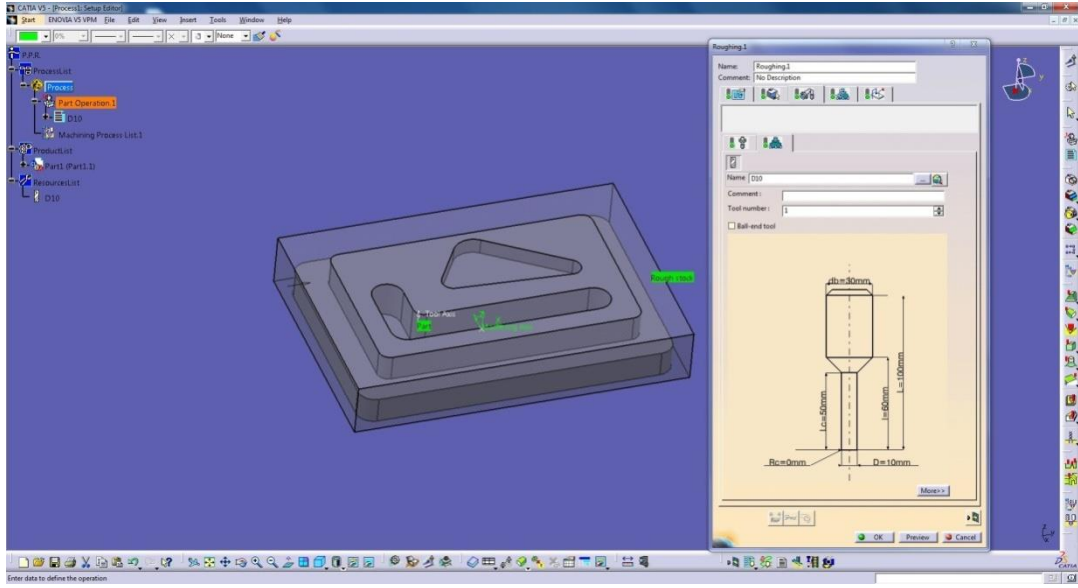


Şekil 2.29. CNC tezgah ilk deneme çalışmaları

3. BULGULAR

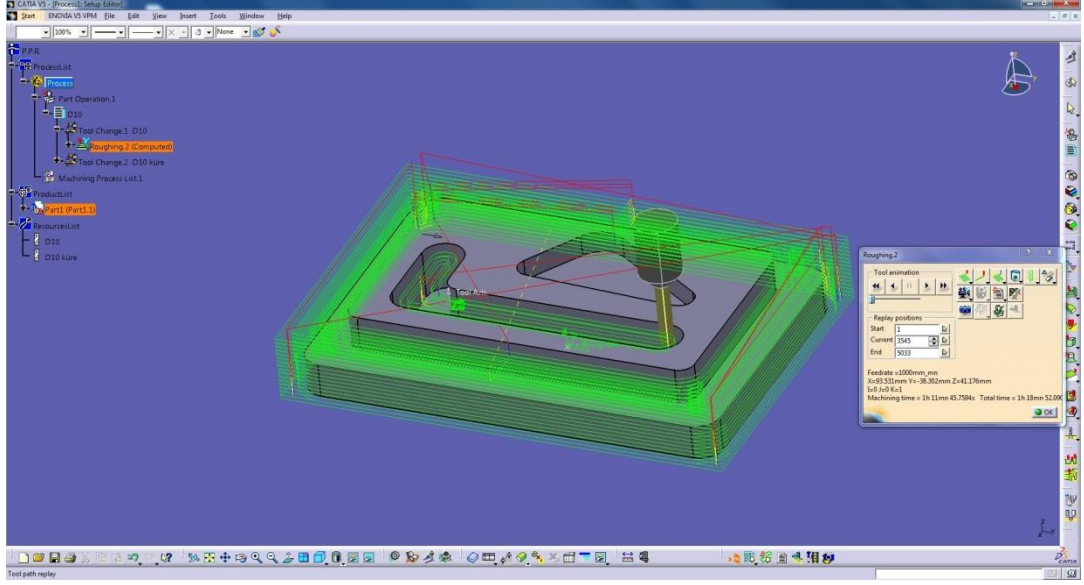
3.1 3 Boyutlu Ölçüm

İmalatı yapılan CNC freze tezgahın işleme doğruluğunu tayin etmek, çalışma toleranslarını belirlemek için basit tasarımlı bir mdf kütük işlenip 3 boyutlu ölçüm ile kontrol edilecektir. CATIA ile tasarımı yapılan basit model Şekil3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. 3 boyutlu ölçüm için tasarlanan model

Modellemenin ardından CNC işleme için yine CATIA kullanılarak CAM modülü oluşturulmuştur. Örnek modeli işlemek için $D=10$ mm çapında 50 mm derinliğinde kesici takım kullanılacaktır. İşleme parametreleri girildikten sonra CNC CAM modülünün simülasyonu Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2. CAM modülü simülasyonu

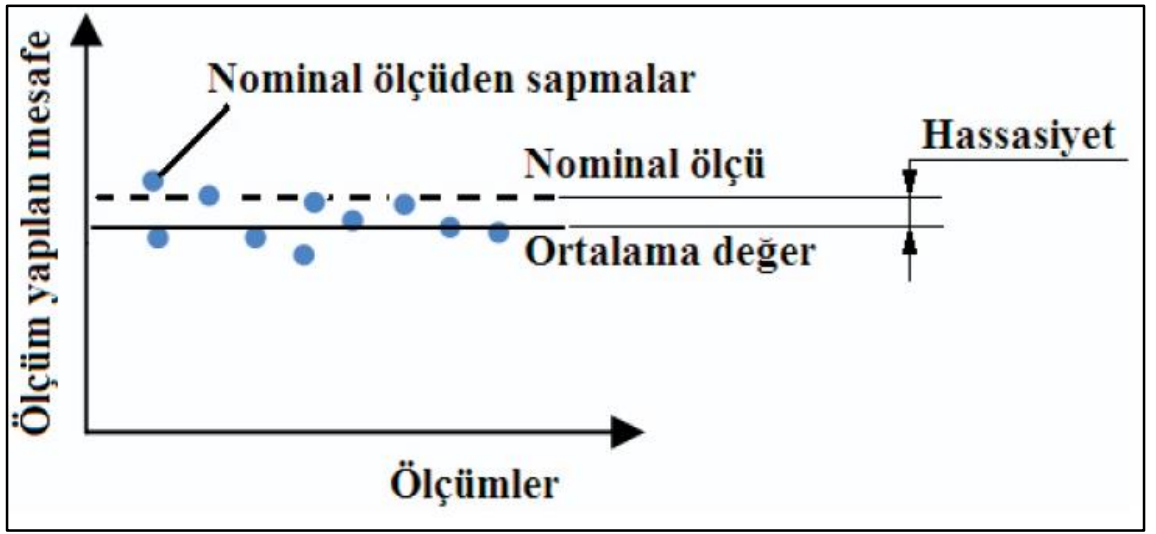
Modelin tezgahta işlenmiş hali Şekil 3.3'te gösterilmektedir. Ölçüm sonuçları Ek 2'de verilmiştir.



Şekil 3.3. CNC tezgahta işlenen model

3.2 Tekrarlama Hassasiyeti

Takım tezgahının tekrarlama hassasiyeti, talaş kaldırma işlemi yapmaksızın seri pozisyonlama hareketleri ile değerlendirilir. Hedef noktadan sapmaların ortalaması tekrarlama hassasiyeti olarak değerlendirilir (Şekil 3.4). Nominal ölçüler ile ortalama ölçülen değer arasındaki fark hassasiyet olarak adlandırılır (Oral ve Çelik, 2009).



Şekil 3.4. Tekrarlama hassasiyeti

Tez çalışmasında, tezgahın tekrarlayabilirliğini test etmek için tezgah boşta çalıştırılırken X, Y ve Z eksenlerinde belirli bir hedef noktaya tekrarlı hareket yapılarak 0,01 mm hassasiyetli komparatör ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.5). Ölçümlerden elde edilen minimum sapma, maksimum sapma ve eksenlerdeki tekrarlama hassasiyeti olarak alınan sapma değerlerinin ortalaması Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Tekrarlanabilirlik ölçümleri

Çizelge 3.1. Tekrarlama hassasiyeti ölçümleri

	Minimum sapma	Maksimum sapma	Tekrarlama Hassasiyeti
X	- 0,01	0,03	0,012
Y	-0,01	0,05	0,025
Z	-0,02	0,04	0,009

4. SONUÇ

Tez çalışmasının ve projenin başında, hassas bir CNC freze tezgah tasarımı ve imalatı, bu freze tezgah ile prototip sünger imalatı ve imalatın $\pm 6/600$ mm toleransında olması hedeflenmiştir. Bu bağlamda metodik konstrüksiyon ve modern mühendislik tasarım teknikleri kullanılarak tasarım ve imalat süreçleri gerçekleştirilmiştir. Bilimsel yollarla tasarımı ve imalatı yapılan 3 eksen hassas CNC freze tezgahın yetenekleri aşağıda sıralanmıştır;

- Hassas olarak otomotiv koltuk süngeri imalatı
- Sünger toleransının sağlanması ($\pm 6/600$ mm)
- Süngerin dışında mdf, alüminyum gibi malzemelerin üretimi
- 3 eksende hareket kabiliyeti
- Klasik step/adım motorlarının yerine servo motor kullanılarak seri ve hızlı çalışma imkanı
- Sağlam konstrüksiyon yapı

İmalatı gerçekleştirilen CNC makinenin hassaslığını tayin etmek için, üretilen mdf ürünün 3 boyutlu ölçümleri yapılmıştır. Prototip sünger işlenmesi için yapılan bu CNC çalışmasında, sünger ölçüm toleranslarının 600 mm'de ± 6 mm olduğu düşünülürse ortaya çıkan sonucun oldukça hassas olduğu görülebilmektedir.

CNC freze tezgahın konstrüksiyonu 6 mm kalınlığındaki sac parçalar ve 5 mm kalınlığındaki profillerle oluşturulmuştur. Sünger, mdf ve alüminyum işlenmesi için de kullanılabilir. Bu nedenle, ileride kesici ucun uygun seçilmesi ile hassas olarak farklı uygulamalarda da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Abuthakeer, S. S., Mohanram, P. V., Kumar, G. M., 2012. Dynamic Characteristics Analysis of High Speed Motorized Spindle. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, 3: 207-212.

Anonim, 2006. Servo Motorlar. http://tr.wikipedia.org/wiki/Servo_motor-(Erişim tarihi: 24.07.2014).

Anonim, 2010. CNC. <http://tr.wikipedia.org/wiki/CNC>-(Erişim tarihi: 23.07.2014).

Anonim, 2011. CNC. <http://mudinmakine.com>-(Erişim tarihi: 20.07.2014).

Anonim, 2011. Estun Servo – Motor Selection Principle. <http://estun.com>-(Erişim tarihi: 17.08.2014).

Anonim, 2011. FEA. http://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_yontemi-(Erişim tarihi: 30.06.2014).

Anonim, 2011. FMEA. http://tr.wikipedia.org/wiki/Hata_turleri_ve_etkileri_analizi-(Erişim tarihi: 15.07.2014).

Anonim, 2014. Cellular Polyurethane Paddings for Motor – Vehicle Seat Cushions and Backs. Fiat Group Automobiles, 9.03135, Italy.

Anonim, 2014. Lineer Kılavuzlama Sistemleri. http://www.schaeffler.com.tr/content.schaeffler.tr/tr/products_services/linear_product/index.jsp-(Erişim tarihi: 24.07.2014).

Arslan, E. 2008. Çok Askılı Mesnet Zorlamalı Bir Elastik Sistemin Modal Analiz Yoluyla Tasarımı. Lisans Bitirme Projesi, DEÜ Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir.

Babalık, F.C., Çavdar, K. 2014. Makine Bilimi ve Elemanları. Bursa, 303 s.

Cherng, J. G., Zhang, Y.. 1994. Modal Analysis of A High Speed Spindle. IMAC XII – 12th International Modal Analysis Conference, 1994, University of Michigan, Dearborn, USA.

Conway, J. R., Ernesto, C. A., Farouki, R. T., Zhang, M., 2011. Performance Analysis of Cross – Coupled Controllers for CNC Machines Based upon Precise Real – Time Contour Error Measurement. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*,52: 30-39.

Khadersab, A., Gandhi, S., Joshi, M., Dargad, D., 2014. Modal Analysis of An Electric Motor Casing-In Comparison with FFT Analyzer. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 3: 1309-1312.

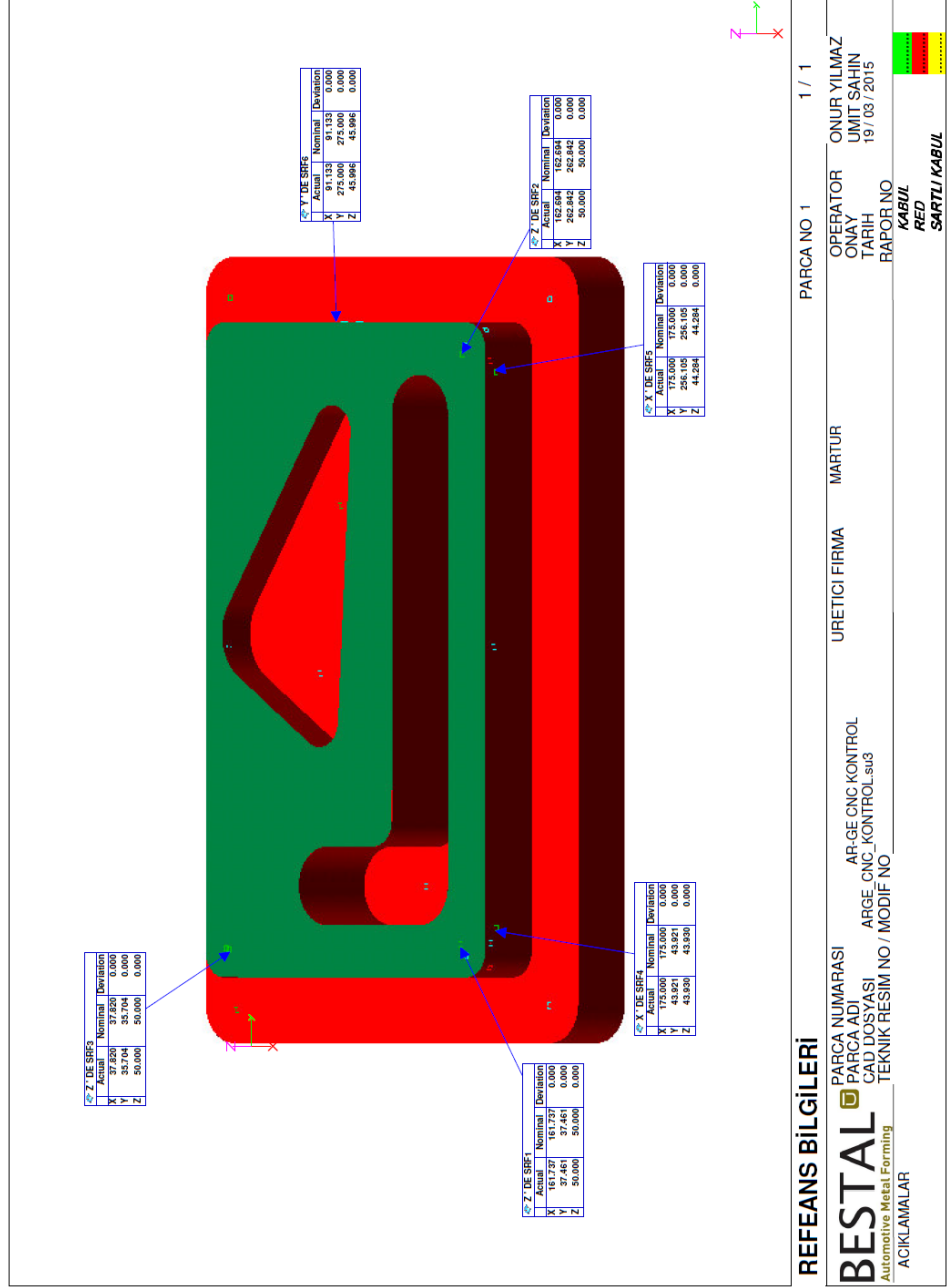
Lal, S. P., Onwubolu, G. C., 2005. Three Tiered Web – Based Manufacturing System. *Robotics and Computer – Integrated Manufacturing*, 23: 138-151.

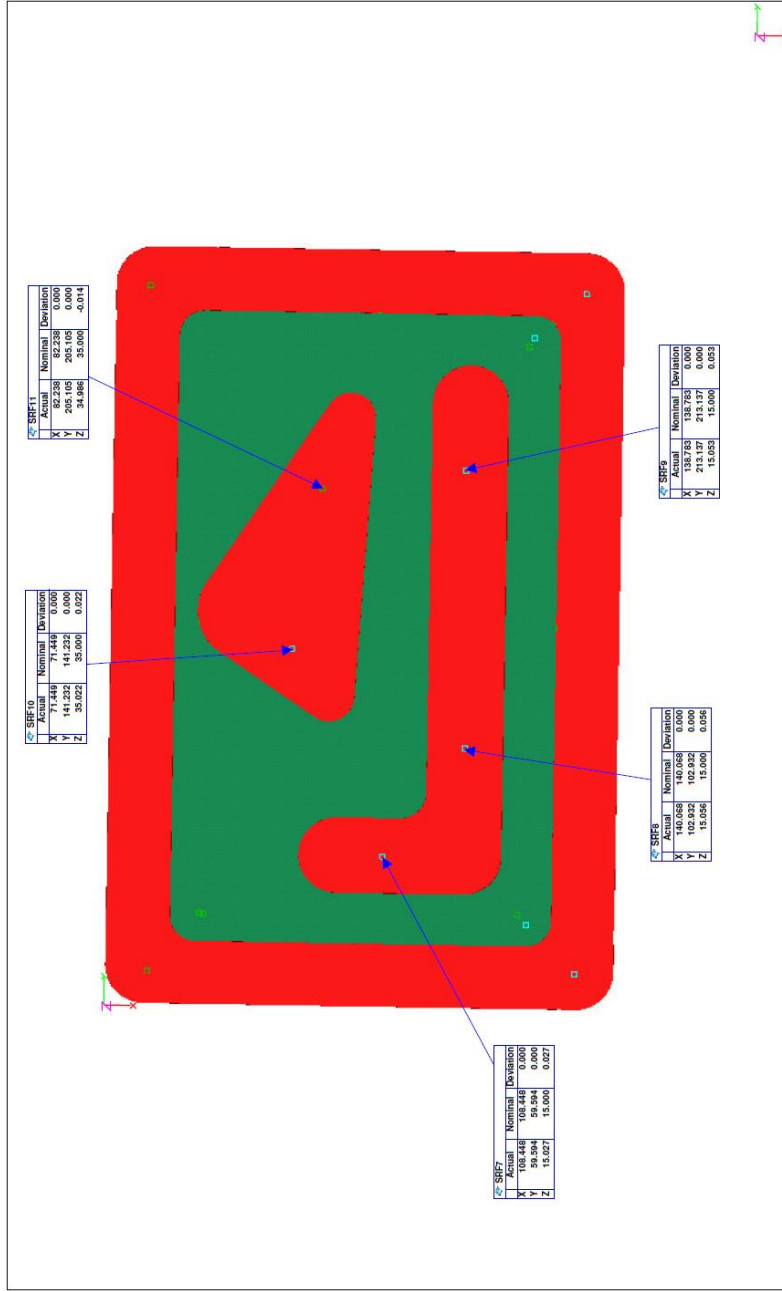
- Li, B., Cai, H., Mao, X., Huang, J., Luo, B., 2013.** Estimation of CNC Machine – Tool Dynamic Parameters Based on Random Cutting Excitation Through Operational Modal Analysis. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 71: 26-40.
- Oral, A., Çelik, S., 2009.** Küçük Ölçekli İşletmeler için Sayısal Denetimli Çok Amaçlı Kesme Makinası Tasarımı. *Mühendis ve Makine*, 50(595): 9-17.
- Özer, F. 2011.** Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Şekil Verme Operasyonları Sonucu Oluşan Geri Yaylanmanın Doğru Tahmini ve Telafisi. Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Türkeş, E., Orak S., 2008.** Takım Tezgahı Tasarımında Elektrik Motoru Seçimi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17: 105-116.
- Usal, M. R., Şahin, A., Usal, M., 2014.** Piezoelektrik Bir Motorun ANSYS’de Dinamik Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14: 7-15.
- Wang, L., Adamson, G., Holm, M., Moore, P., 2012.** A Review of Function Blocks for Planning and Control of Manufacturing Equipment. *Journal of Manufacturing Systems*, 31: 269-279.
- Yahnioglu, N. 2010.** Sonlu Elemanlar Yöntemi. http://www.yildiz.edu.tr/nazmiye/Sonlu_elemanlar_yontemi-sunu.ppt-(Erişim tarihi: 01.07.2014).
- Yalnızca, O., Özelgin, İ., Aksoy, E., 2014.** Esnek Volan Modal Analizi. *Mühendis ve Makine*, 55(656): 30-41.
- Yeh, S., Tsai, Z., Hsu, P., 2008.** Applications of Integrated Motion Controllers for Precise CNC Machines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44: 906-920.
- Zhang, J., Ong, S. K., Nee, A. Y. C., 2009.** Development of An AR System Achieving In Situ Machining Simulation on A 3-Axis CNC Machine. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 21: 103-115.

EKLER

- EK 1** Ar – Ge CNC Ölçüm Sonuçları
- EK 2** CNC Tasarım FMEA

EK 1 Ar – Ge CNC Ölçüm Sonuçları





NOKTASAL KONTROLLER

PARCA NO 1 1 / 1

BESTAL  **ACIKLAMALAR**

PARCA NUMARASI
 PARCA ADI
 CAD DOSYASI
 TEKNIK RESIM NO / MODIF NO

AR-GE CNC KONTROL
 ARGE_CNC_KONTROL.su3

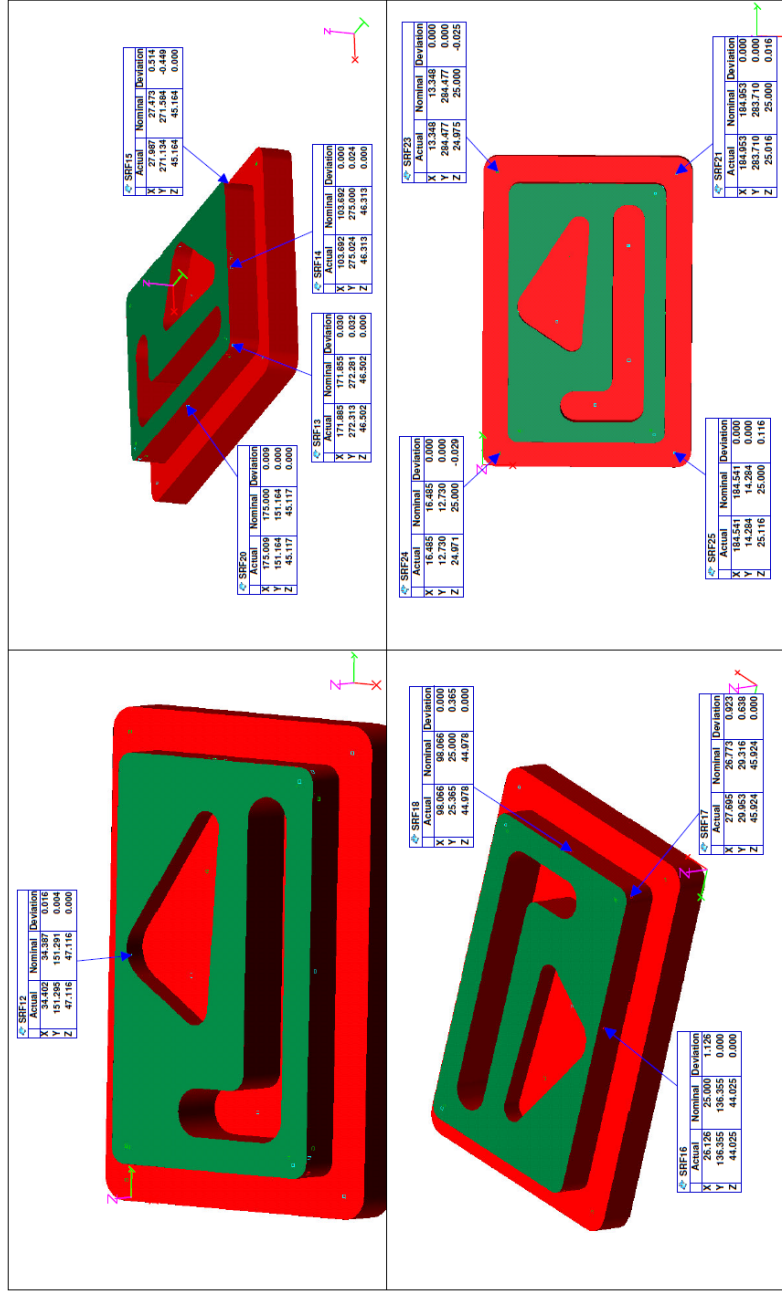
URETICI FIRMA
 MARTUR

OPERATOR
 ONAY
 TARİH
 RAPOR NO

ONUR YILMAZ
 UMİT SAHİN
 19 / 03 / 2015

KABUL
 RED
 SARTLI / KABUL





NOKTASAL KONTROLLER 1 PARCA NO 1 1 / 1

BESTAL PARCA NUMARASI
 Automotive Metal Forming PARCA ADI
 ACIKLAMALAR ARGE CNC KONTROL ARGE CNC KONTROL.su3

URETICI FIRMA MARTUR

OPERATOR ONUR YILMAZ
 ONAY UMIT SAHIN
 TARİH 19 / 03 / 2015

RAPOR NO
 KABUL
 RED
 SARTLI / KABUL

TASARIM (DİZAYN) FMEA (DFMEA)

SİSTEM :		TASARIM SORUMLUSU KİŞİ / DPT. : BURAK BARIŞKAN / ARGE										FMEA HAZIRLANMA TARİHİ / NO. : 30.12.2013						
ALT SİSTEM : MOTORLAR		DFMEA EKİBİ : BURAK BARIŞKAN, MESUT YAYLAK, RECEP KURT, EMRAH DEMİR										SAYFA NO / SAYFA ADEDİ :						
BİLEŞEN : CNC												HAZIRLAYAN : MARTUR						
MODEL :												FMEA REVİZYON TARİHİ / REV.NO : 0						
HATA NO	TEMEL PARÇA / FONKSİYON PARAMETRELERİ	GEREKİLİKLER	OLASI HATA MODU	HATANIN ETKİLERİ	HATANIN ŞİDDETİ (G)	SINIFLANDIRMA	HATANIN OLASI SEBEPLERİ	MEVCUT TASARIM				ÖNERİLEN FAALİYETLER	SORUMLU KİŞİ VE TERMİN	AKSIYON SONUÇLARI				
								KONTROLLER (ÖNLEME)	OLASILIK	KONTROLLER (SAPTAMA)	SAPTANABİLİRLİK			R.P.N.	ALINAN AKSIYON VE TAMAMLANMA TARİHİ	ŞİDDET	OLASILIK	SAPTANABİLİRLİK
1A	SPINDLE MOTORUN KESME İŞLEMİNİ YERİNE GETİRMESİ	Motorun dönme torkunu yakalaması	Motor gücünün / devrinin düşük gelmesi	Motor seçimi	8	+	Motorun yanlış seçimi	Motorun devri kesme işlemi için ihtiyaç olan devire uygun seçilmeli	2	Ürün - kesme ucu güç hesabı	2	32						
2A	SERVO MOTORLARIN YÜKÜ TAŞIMASI	Motorun gücünün ihtiyaç olan ağırlığı hareket ettirmeye yeterli olması	Motor gücünün / devrinin düşük gelmesi	Motor seçimi	6	+	Motorun yanlış seçimi	Motorun gücü, hareket ettireceği yüke göre seçilmeli	2	Motor güç hesabı	2	24						
SEVERITY							CLASSIFICATION											
EVALUATION							EVALUATION											
SIGNIFICANCE (only aesthetic)							MINOR											
SIGNIFICANCE (functional context)							MAJOR											
SERIOUS (aesthetic and functional)							CRITICAL											
EXTREMELY SERIOUS (functional)																		

TASARIM (DİZAYN) FMEA (DFMEA)

SİSTEM :		TASARIM SORUMLUSU KİŞİ / DPT. : BURAK BARIŞKAN / ARGE										FMEA HAZIRLANMA TARİHİ / NO. : 30.12.2013							
ALT SİSTEM : PROFİLLER		DFMEA EKİBİ : BURAK BARIŞKAN, MESUT YAYLAK, RECEP KURT, EMRAH DEMİR										SAYFA NO / SAYFA ADEDİ :							
BİLEŞEN : CNC												HAZIRLAYAN : MARTUR							
MODEL :												FMEA REVİZYON TARİHİ / REV.NO : 0							
HATA NO	TEMEL PARÇA / FONKSİYON PARAMETRELERİ	GEREKLİLİKLER	OLASI HATA MODU	HATANIN ETKİLERİ	HATANIN ŞİDDETİ (G)	SINIFLANDIRMA	HATANIN OLASI SEBEPLERİ	MEVCUT TASARIM				SORUMLU KİŞİ VE TERMİN	AKSIYON SONUÇLARI						
								KONTROLLER (ÖNLEME)	OLASILIK	KONTROLLER (SAPTAMA)	SAPTANABİLİRLİK		R.P.N.	ÖNERİLEN FAALİYETLER	ALINAN AKSIYON VE TAMAMLANMA TARİHİ	ŞİDDET	OLASILIK	SAPTANABİLİRLİK	R.P.N.
3B	TÜM PROFİLLER DAYANAKLI OLACAKTIR	Profillerin dayanım açısından uygun olması	Profillerde meydana gelecek kırılma / mukavemet kaybı / ölçüsel sapma	Uygun profil ölçüsü seçimi	7	+	Profil et kalınlığı / kesit ölçüsü seçimlerinin yanlış olması	Profil kesiti / et kalınlığı karşılayacağı yüke uygun seçilmeli	3	3	63								
SEVERITY																			
EVALUATION					POINT					CLASSIFICATION									
					1					MINOR									
					2 - 6					MAJOR									
					7 - 8					CRITICAL									
					9 - 10														
SIGNIFICANCE (only aesthetic)																			
SIGNIFICANCE (functional context)																			
SERIOUS (aesthetic and functional)																			
EXTREMELY SERIOUS (functional)																			

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Burak Barışkan
Doğum Yeri ve Tarihi	: Ankara 1985
Yabancı Dili	: İngilizce
Eğitim Durumu	
Lise	: NMÇ Anadolu Lisesi 2003
Lisans	: Uludağ Üniversitesi 2009
Yüksek Lisans	: Uludağ Üniversitesi 2015
Çalıştığı Kurum ve Yıl	: Martur AŞ 2011 – Devam ediyor
İletişim	: burakbariskan@hotmail.com