

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KANCA TRAVERSLERİNİN PARAMETRİK TASARLANMALARI
GERİLME ANALİZLERİ VE PROTOTİP ÜRETİM
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Güven BİRCAN

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Konstrüksiyon Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. C. Erdem İMRAK

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Bu tezde, endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılan krenlerin önemli bir elemanı olan kanca traversleri incelenmiştir. Traversler, kancaların tespitinde ve halat makaralarının yataklanmasında kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmanın giriş bölümünde, teze ilgili olarak genel bilgiler verilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, kanca traversleri hakkında bilgiler verilmiş, traverslerin basit ve tam hesaplarının nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Ayrıca örnek bir problemin çözümü yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, tasarım kavramı ve bilgisayarla tasarım hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde, hızlı prototiplemenin tanımı yapılmıştır ve hızlı prototip yöntemleri genel olarak anlatılmıştır.

Tezin altıncı bölümünde, yapılan çalışmalar kısaca anlatılmıştır.

Tezin yedinci ve son bölümünde ise ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapılmış ve önerilere yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasında öncelikle şahsıma gösterdiği hoşgörü ve sabır için daha sonra ise bu çalışmanın tamamlanmasında değerli görüşlerini, yardımlarını ve zamanını esirgemeyen danışmanım Doç.Dr. C. Erdem İmrak'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana destekte bulunan aileme ve arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

01/02/2005

Güven BİRCAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. YÜK KALDIRMA İŞLEMİ	4
2.1. Yük Tutma Elemanları	4
2.2. Kanca Traversleri	5
2.2.1. Kanca traverslerinin basit hesabı	7
2.2.2. Kanca traverslerinin tam hesabı	8
3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİK	15
3.1. Tasarım Ve Mühendislik Tasarımı Kavramları	15
3.2. Mühendislik Tasarım Süreci	15
3.3. BDT'ın Tarihçesi	17
3.4. Üç Boyutlu Geometrik Görünüşler	17
3.4.1. Tel kafes modelleme	18
3.4.2. Yüzey modelleme	19
3.4.3. Katı modelleme	21
3.5. Katı Modellemenin Önemi	22
3.6. Katı Modelleme Sisteminin Çeşitleri	23
3.6.1. Konstrüktif katı geometrisi	23
3.6.2. Sınır gösterimi	24
3.6.3. Hibritler	25
3.6.4. Sabitleme modelli katı modelleme	26
4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	27
4.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları	28
4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları	28
4.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Kısa Tarihçesi	29
4.4. Sonlu Elemanlar Yönteminin İşlem Adımları	29

4.5. Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Bilgisayarla Analiz	30
4.6. Sonlu Eleman Kavramı	32
4.6.1. Sonlu Eleman Çeşitleri	32
5. PROTOTİP TANIMI VE PROTOTİPLEMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ	34
5.1. Ürün Geliştirme Sürecinde Prototiplere İhtiyaç Duyulan Aşamalar	35
5.2. Hızlı Prototipleme	35
5.2.1. Hızlı prototipleme döngüsü	36
5.3. Hızlı Prototipleme Üretim Yöntemleri	38
5.3.1. Işıklı katılaştırma yöntemi	38
5.3.1.1. Tarayarak katılaştırma	39
5.3.1.2. Maskeleyerek katılaştırma	40
5.3.2. Toz bağlama yöntemi	41
5.3.2.1. Isıtarak bağlama	41
5.3.2.2. Yapıştırarak bağlama	43
5.3.3. Harç yığma yöntemi	43
5.3.3.1. Püskürterek harç yığma	43
5.3.3.2. Sıvayarak harç yığma	44
5.3.4. Tabaka yığma yöntemi	45
5.3.4.1. Yapıştırdıktan sonra kesme	45
5.3.4.2. Kestikten sonra yapıştırma	46
6. YAPILAN ÇALIŞMALAR	48
6.1. STL Dosya Formatı	51
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	56
EK A	57
EK B	61
ÖZGEÇMİŞ	64

KISALTMALAR

BDM	: Bilgisayar Destekli Mühendislik	(CAE)
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım	(CAD)
BDİ	: Bilgisayar Destekli İmalat	(CAM)
BBİ	: Bilgisayarla Bütünleşmiş İmalat	(CIM)
NURBS	: Non Uniform Rational B-Splines	
KM	: Katı Modelleme	(SM)
2B	: İki Boyut	(2D)
3B	: Üç Boyut	(3D)
HP	: Hızlı Prototipleme	(RP)
KKG	: Konstruktif Katı Geometrisi	(CSG)
SG	: Sınır Gösterimi	(B-rep)
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu	(FEM)
SFM	: Sonlu Farklar Metodu	(FDM)
SIEM	: Sınır Elemanlar Metodu	(BEM)
IGES	: Initial Graphics Exchange Specification	
DOF	: Degree Of Freedom	
RT	: Rapid Tooling	
RM	: Rapid Manufacturing	
CMM	: Koordinat Ölçme Cihazı	
STL	: Stereolitografi	
SLA	: Stereolitografi Apparatus	
UV	: Ultraviolet	
SGC	: Solid Ground Curing	
SLS	: Selective Laser Sintering	
FDM	: Fused Deposit Modeling	
LOM	: Laminated Object Manufacturing	

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Basit Eleman Geometrileri.....	33
Tablo 6.1. Hazırlanan programın ve “seçimleri dinle” kısmının akış şeması..	54
Tablo A.1. Kanca Malzemelerinin Sınıflandırılması (DIN 15400).....	57
Tablo A.2. İşletme grubu ve kaldırılan yüke göre kanca seçimi (DIN 15400).	58
Tablo A.3. Kanca traverslerinin şekilleri (DIN 15412).....	59
Tablo A.4. Kanca traverslerinin ölçüleri (DIN 15412).....	60

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Kısa şaftlı kanca bloku.....	1
Şekil 1.2 : Uzun şaftlı kanca bloku.....	2
Şekil 1.3 : İki makaralı modern kanca bloku.....	3
Şekil 2.1 : DIN 15412'ye göre A,B ve C tipi kanca traversleri.....	6
Şekil 2.2 : Kanca traversi.....	7
Şekil 2.3 : Bir travers için hesaplama diyagramı.....	9
Şekil 2.4 : 05 numaralı kanca traversinin kritik kesiti.....	13
Şekil 3.1 : Tasarım sürecindeki adımlar.....	16
Şekil 3.2 : Bir tel kafes modelinin köşe ve kenar listesi.....	18
Şekil 3.3 : Bir yüzeyin parametrik gösterimi.....	19
Şekil 3.4 : Kübik Bezier eğrisi ile Bezier bikübik yüzey yaması.....	20
Şekil 3.5 : CSG sisteminde boolean işlemleri.....	24
Şekil 3.6 : Gerçek yüzeyler ve çokgen yaklaşımları.....	25
Şekil 5.1 : Stereolitografi işlemi prensip şeması.....	40
Şekil 5.2 : Maskeleyerek katılaştırma işlemi prensip şeması.....	41
Şekil 5.3 : SLS işleminin şeması.....	42
Şekil 5.4 : FDM işlemi.....	45
Şekil 5.5 : LOM işlemi.....	46
Şekil 6.1 : Paramterelerden bir tanesinin değişiminin travers çizimine etkisi.....	48
Şekil 6.2 : Catia programında analiz.....	49
Şekil 6.3 : A tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 6.4 : Üçgenin tanımı.....	51
Şekil 6.5 : Sağ el kuralı.....	52
Şekil 6.6 : Mobius kuralı.....	52
Şekil 6.7 : Tabla ve traversin yerleşimi.....	53
Şekil 6.8 : Travers seçim programı.....	53
Şekil 6.9 : Programdaki değerlerin değişimi.....	54
Şekil B.1 : B tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil B.2 : C tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil B.3 : C2 tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	63

SEMBOL LİSTESİ

D_r	: Eksenel yuvarlamalı yatağın dış çapı
d_r	: Eksenel yuvarlamalı yatağın iç çapı
D_m	: Eksenel yuvarlamalı yatağın ortalama çapı
$M_{eğ}$: Eğilme momenti
W	: Mukavemet momenti
σ	: Eğilme gerilmesi
h	: Traversin yüksekliği
m	: Muylu uzunluğu
d_m	: Muylu çapı
N_1	: Alt kısma etki eden normal kuvvet
N_2	: Üst kısma etki eden normal kuvvet
M_1	: Alt yarım dairedeki eğilme momenti
M_2	: Üst yarım dairedeki eğilme momenti
U	: Potansiyel enerji
I	: Daire kesitindeki atalet momenti
k	: Rijitlik (stiffnes) matrisi
μ	: Bilinmeyenleri içeren vektör
f	: Sağ taraf vektörü

KANCA TRAVERSLERİNİN PARAMETRİK TASARLANMALARI, GERİLME ANALİZLERİ VE PROTOTİP ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kanca traversleri, endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılan krenlerin önemli bir elemanıdır. Yer aldığı kanca bloğunda tek ağızlı ve çift ağızlı kancaların tespitinde ve halat makaralarının yataklanmasında kullanılmaktadır. Kaldırma kapasitesine bağlı olarak konstrüksiyonu değişen kanca traversleri üzerinde bulunan aksel bilyalı rulmanın ortasında kanca şaftının geçerek özel somun ile serbestçe dönebileceği bir yapıya sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, değişik kapasitelerde çalışan krenlerde kullanılan kanca traverslerinin yarım daire üzerinde yayılı yüklerin bileşkesi dikkate alınarak oluşan gerilmeleri bilgisayar yardımı ile incelemek ve geleceğin teknolojisi olan hızlı prototipleme sistemleri ile üretilebilirliklerini araştırmaktır.

Bu çalışma yedi bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, tezle ilgili olarak genel bilgiler verilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kanca traversleri hakkında bilgiler verilmiş, traverslerin basit ve tam hesaplarının nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde tasarım kavramı ve bilgisayarla tasarım hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgiler verilmiştir.

Beşinci bölümde hızlı prototiplemenin tanımı yapılmıştır ve hızlı prototip yöntemleri genel olarak anlatılmıştır.

Altıncı bölümde ise Catia ve Solidworks kullanılarak parametrik tasarımların, gerilme analizlerinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır ve oluşturulan bilgisayar programı hakkında bilgiler verilmiştir.

Tezin yedinci ve son bölümünde ise ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapılmış ve ilerki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

PARAMETRIC DESIGN OF HOOK CROSSPIECES, STRESS ANALYSES AND INVESTIGATION OF PROTOTYPE PRODUCTION METHODS

SUMMARY

Hook crosspieces are one of the vital parts of the hoisting systems which are widely used in industrial facilities. Hook crosspieces are used to fix the standard and ramshorn hooks and to support rope pulleys. The design of the crosspieces which depend on the hoisting capacity, have a structure allows the free rotation with the special nut over the hook shaft.

The purpose of this project is to analyze stress of different hook crosspieces which are used in the crane systems of different capacities, by considering the resultant of the distributed loads acting on the crosspieces by means of computer software.

This study involves seven chapters.

In the first chapter, the information that will provide general view about the thesis.

Chapter two includes theoretical knowledge about hook crosspieces and basic and accurate strength calculations for them.

Chapter three gives information about design concept and computer aided design.

Chapter four explains finite element method.

Chapter five gives a definition of rapid prototyping systems and rapid prototyping techniques are described generally.

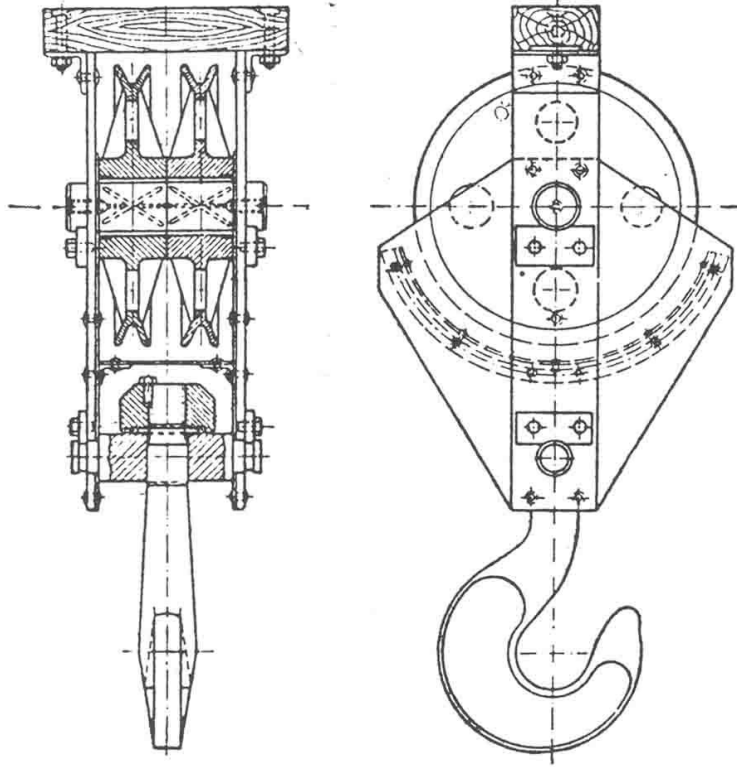
Chapter six describes how the parametric design of the crosspieces are done by the help of computer aided engineering programs such as SolidWorks and Catia. The computer program which is created during the thesis is also described in this section.

The last chapter, chapter seven, evaluates the solutions and gives suggestions about the further study.

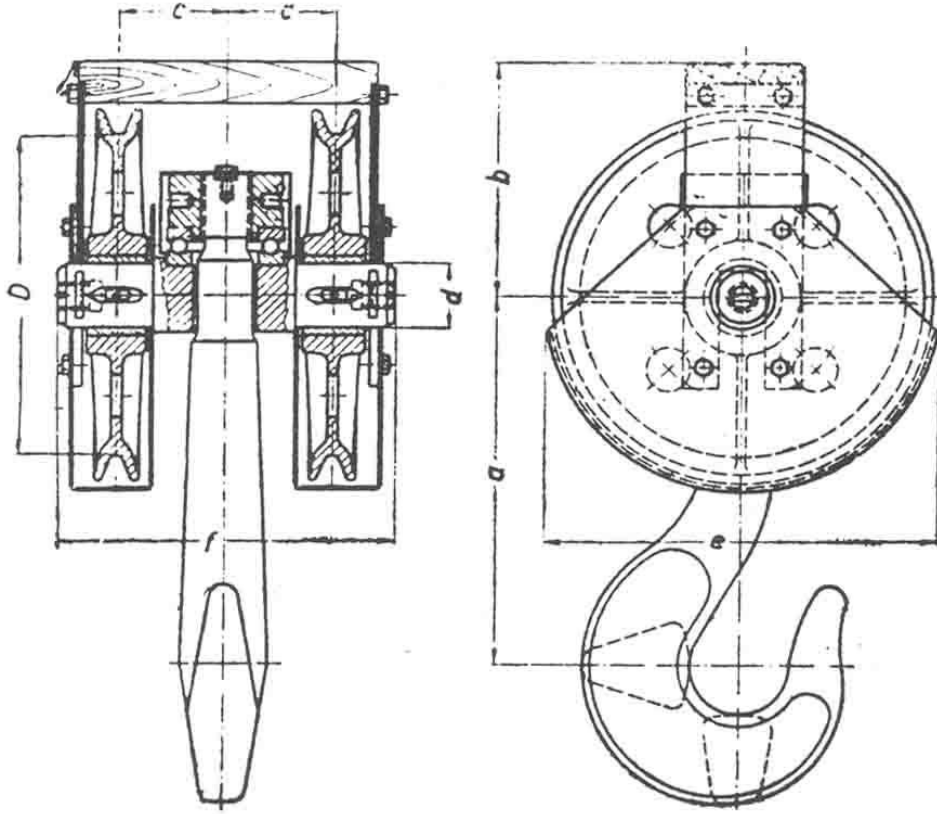
1. GİRİŞ

Yükleri kaldırmak ve bir yerlere iletmek amacıyla çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Bu araçlar yük tutma elemanlarının varlığı sayesinde, yüke bağlama ve çözme sırasında zarar vermeden, bu görevlerini yerine getirebilmektedirler.

Yük tutma elemanlarından bir tanesi de kanca traversidir. Kanca traversinin kullanılmasının sebebi, kancanın düşey eksen etrafında kolaylıkla dönebilmesini sağlamaktır. Kanca traversleri, kanca bloklarında yer alırlar ve konstrüksiyonlarına göre Şekil 1.1’de görüldüğü gibi kanca yükünü yan askı saçlarına veya şekil 1.2.’de görüldüğü gibi makaralara iletirler.



Şekil 1.1 Kısa shaftlı kanca bloku



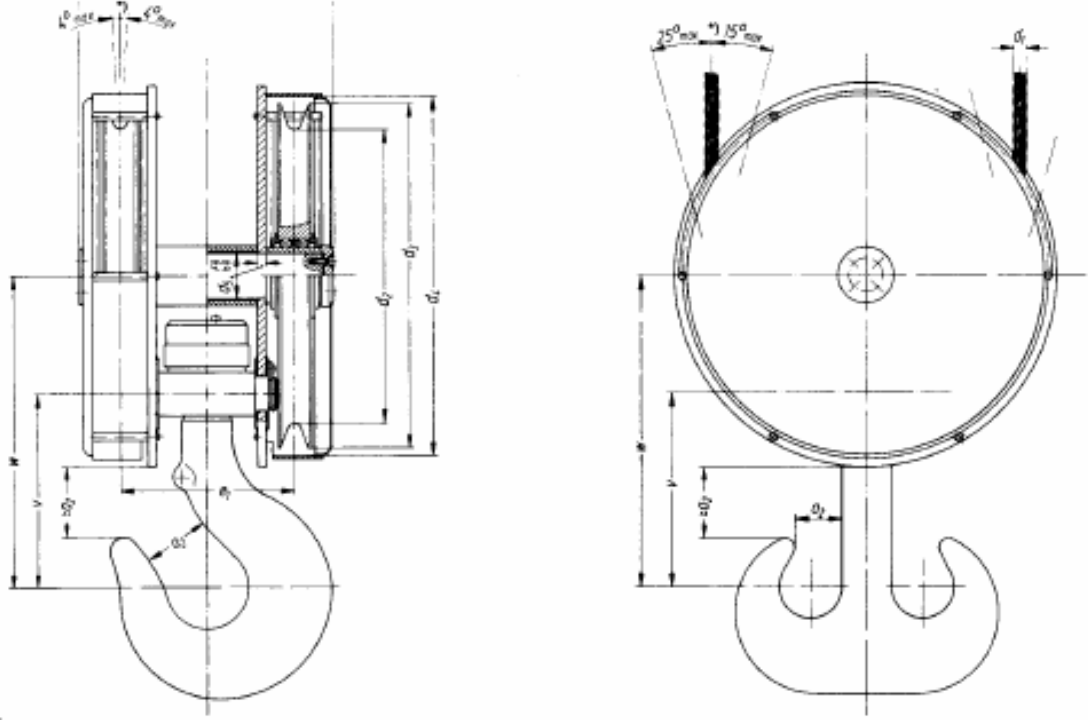
Şekil 1.2 Uzun şaftlı kanca bloku [1]

Kanca traverslerinin makaraları yataklamak için kullanıldığı durumlarda kancanın şaftı, kancanın makaralara çarpmasını engellemek için uzun tutulur.

Kısa şaftlı ve uzun şaftlı kanca bloğuna ilaveten günümüzde, her iki konstrüksiyonun iyi özelliklerinin birleştirilmiş şeklide kullanılmaktadır. Modern kanca bloğu adıyla anılan bu yeni yapım kanca blokları, DIN 15408 ve DIN 15409'da gösterilmişlerdir.

DIN 15408 iki makaralı, DIN 15409 ise dört makaralı modern kanca bloklarını göstermektedir.

Kanca bloğu uzun şaftlı kanca bloğunun yüksekliğinde ve genişliğinde olup, kısa şaftlı kanca takılmıştır. Böylece blok tipleri azaltılmış ve seri fabrikasyon sayesinde ekonomiklik sağlanmıştır. Şekil 1.3'de iki makaralı modern kanca bloğu gösterilmiştir.



Şekil 1.3 İki makaralı modern kanca bloku

Kanca traversleri kullanıldıkları yere ve maruz kaldıkları etkilere göre, can güvenliğini sağlamak için, iyi tasarlanmış olmalıdırlar. Tasarım, önceden çözülmemiş problemlere çözümler bulmak veya daha önceden bulunan çözümleri geliştirmek demektir. Tasarım süreci, bir istek sonucunda başlar. İstek tam olarak belirlendikten sonra, tasarımın en önemli adımı görsel taslaklar çizmektir.

Günümüzde görsel taslaklardan sonraki aşama olan ilk tasarımların oluşturulmasında bilgisayarlardan yararlanılmaktadır. Bilgisayarların ve bilgisayar programlarının son yıllardaki gelişimi sonucunda, ilk tasarımlar soyut durumdan somut bir duruma geçmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodunun da bu tasarım programları ile entegrasyonu sonucunda bilgisayar ortamında oluşturulan tasarımlara, gerçeklermiş gibi analizler yapılabilir. Geliştirilen tasarım ve analiz programları sayesinde tasarım süresi kısalmış, tasarımların güvenilirlikleri artmıştır.

Ayrıca HP üretim yöntemlerinin ortaya çıkışı ile tasarımı yapılan ve test edilen parçalar saatler içerisinde fiziksel model olarak görülebilir ve üretilip üretilmeyeceğine karar verilebilir.

2. YÜK KALDIRMA İŞLEMİ

İnsanlar günlük yaşantılarının önemli bir kısmında, örneğin fabrikalarda, işletmelerde, depolarda, stok sahalarında vb. yerlerde ağır yükleri kaldırmak ve bunları belirli bir uzaklığa ilettikten sonra yerlerine yerleştirmek durumu ile karşı karşıya kalırlar. Bu işlemin yapılabilmesi için çeşitli araçlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araçlar tarafından yapılan kaldırma ve iletme işlemleri, bir boyutlu (çizgisel), iki boyutlu (yüzeysel) veya üç boyutlu (hacimsel) olarak gerekli olabilir. Yükün yalnız kaldırılması veya yalnız iletilmesi bir boyutlu işlemi gösterir. Bu görevi yapan araçlara örnek olarak asansörler, elevatörler ve konveyörler gösterilebilir. Yükün kaldırıldıktan sonra bir düzlem üzerinde veya bir yüzey üzerinde iletilmesi iki boyutlu işlemi gösterir. Buna örnek olarak da sabit bir kiriş üzerinde çalışan palanga veya bir duvar üzerine yerleştirilmiş kirişi üzerinde yükün yatay olarak hareket etmediği döner vinç gösterilebilir. Yükü üç boyut üzerinde kaldıran ve ileten araçlara da normal köprü vinçleri, mobil vinçler, ray üzerinde yürüyen döner vinçler ve yükleme köprüleri örnek olarak gösterilebilir.

Bu araçların konstrüksiyonlarında ve yapım tarzlarında kaldırılacak veya iletilecek yükün büyüklüğüne, şekline, çalıştığı yere, çalıştırılma hızına bağlı olarak önemli değişiklikler meydana gelebilir.

2.1 Yük Tutma Elemanları

Çeki elemanı halat ve zincirler ile yük arasında pratik irtibat sağlayan elemanlardır. Yük tutma elemanları yükü çok kısa zamanda ve emniyetle bağlayıp çözmektedir. Bağlama ve çözme anında hiçbir şekilde yüke zarar vermezler. Yük tutma elemanları, konstrüksiyonlarına ve fonksiyonlarına göre sınıflandırılmaktadır.

Yük tutma elemanlarının konstrüksiyonu yanında yükün şekline göre seçimi de önemlidir. Elemanların malzeme ve mukavemet hesapları iyi yapılmaktadır. Çünkü bunlar makinanın çalışma kapasitesini arttıran en önemli elemanlardır. Değişik tipte yüklere göre yük tutma elemanları fonksiyonları da çeşitlidir.

Yükü tutup bırakması ve imalatı kolay, kalifiye elemana ihtiyaç duymayan oldukça emniyetli elemanlardır. Bunlar başlıca dokuz ana grupta toplanmaktadır.

Kancalar; basit veya tek ağızlı kancalar, çift ağızlı kancalar, gözlü kancalar, gemi emniyet kancaları ve lamelli kancalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Hamutlar, yani yük askıları; tek parçalı hamutlar ve mafsallı hamutlar olarak başlıca iki grupta toplanmaktadır.

Kepçeler; halatlı basit kepçeler, halatlı otomatik kepçeler, bu kepçelerde motorlu kumandalı kepçeler, hidrolik kumandalı kepçeler ve pnömatik kumandalı kepçeler olarak sınıflandırılmaktadır.

Kıskaçlar; odun kıskaçları, saç kıskaçları, taş kıskaçları vb. kullanılan malzemelere göre farklılık göstermektedir.

Bunun dışında traversler; kanca, kepçe, kıskaç ve yük traversleri olarak uygulamada karşımıza çıkmaktadır. Yük platformları kaldırılacak malzemeye de bağlı olarak dairesel platformlar, kare platformlar ve dikdörtgen platformlar; taşıma kapları kullanma maksatlarına göre sınıflandırılan ve hatta ağır ve sıcak malzemeler de motorla tahrikli imal edilen ve birçok çeşitli konstrüksiyonlarda kullanıma arz edilen kaplar; yük miktarları farklı yük kapasitelerinde ve üç dört noktadan zincirle asılan mknatıslar, polipler ise gayri muntazam malzemeleri kolayca kavramak için kullanılan diğer yük tutma elemanlarından [2].

2.2 Kanca Traversleri

Kanca somunu, bilyalar ve bilyalı yatakların aracılığı ile travers üzerine oturur ve travers de kanca yükünü, yan askı saçlarına veya makaralara götürür. Uzun şaftlı kanca bloklarında makaralar ve kanca travers üzerinde bulunur, kısa şaftlı kanca bloklarında ise makaralar yan yana geldiğinden traversin boyu kısalmır.

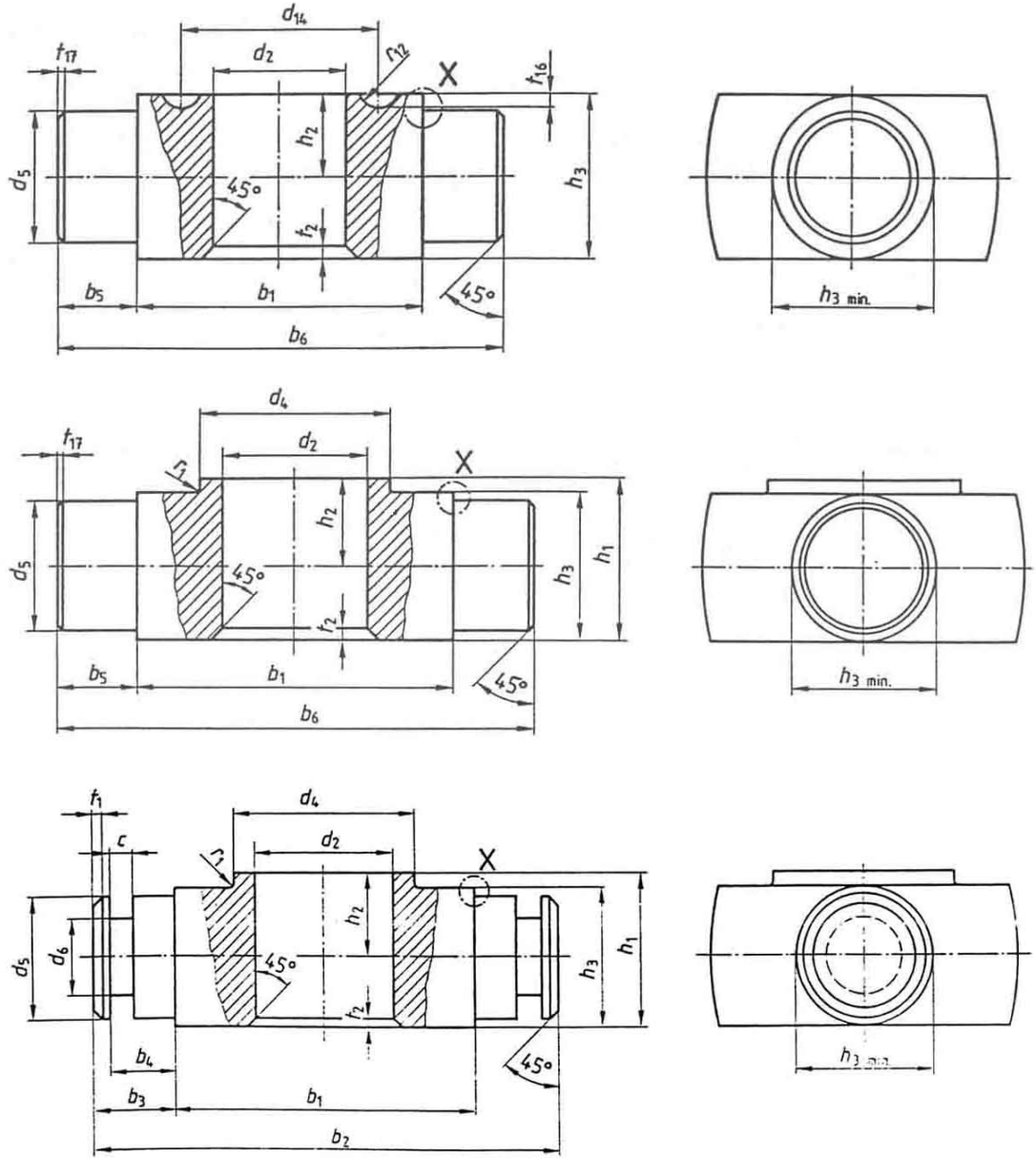
Traversin iki ucu torna edilmiştir ve bunlar, traversin muyluları adını taşımaktadırlar.

Travers bu muylular aracılığıyla askı saçına yataklanmış olduğundan, yatay eksen çevresinde de dönebilir. Tutucular veya yarıklı halkalar traversin kurtulmamasını sağlarlar. Bir lama parçasından başka bir şey olmayan tutucular, travers muylusunda açılan faturaya oturur ve iki civata ile askı saçına vidalanırlar.

Travers malzemesi: St 42 veya St 50 dövülmüş çelik olup genelde $\sigma_{em} = 80 - 120 \text{ N / mm}^2$ alınabilir. Burada büyük değerler, büyük kanca yükleri için alınmalıdır.

Kanca traversleri DIN 15412'ye göre, A tipi, B tipi ve C tipi olmak üzere üç ayrı şekilde olmaktadır. 006 numaradan 1 numaraya kadar olan traversler A tipi, 1,6 numaradan 16 numaraya kadar olan traversler B tipi, 2,5 numaradan 250 numaraya kadar olan traversler ise C tipi olabilmektedirler.

Şekil 2.1’de DIN 15412’deki traversler sırasıyla görülebilir.

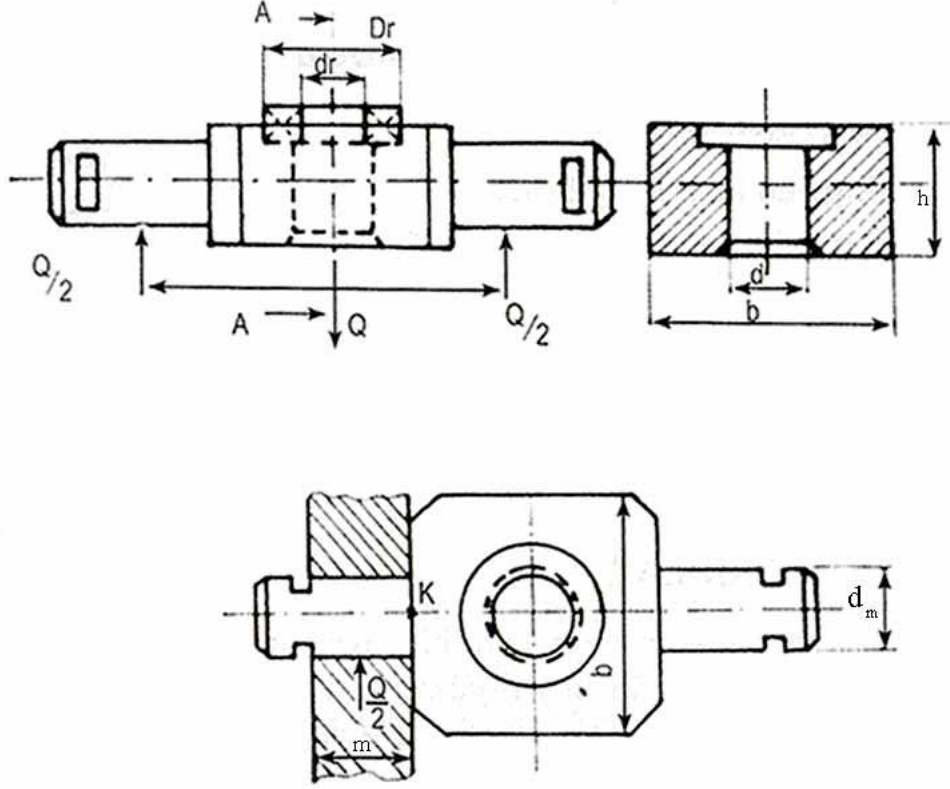


Şekil 2.1 DIN 15412’ye göre A,B ve C tipi kanca traversleri

A tipi seri olarak yük kaldıran araçlarda kullanılır ve traversin ucuza mal edilmesi için rulman yerine üzerinde bilyaların yerleştirilebileceği bir oluk bulunur. B tipi ve C tipi krenlerde kullanılır. Ayrıca, C tipinin çekiçle dövülerek imal edilen ve konstrüksiyonu hemen hemen C tipi ile aynı olan bir şekli daha vardır. Bu tez kapsamında C tipinin bu çeşidi, C2 tipi olarak adlandırılmıştır.

2.2.1 Kanca traverslerinin basit hesabı

Kanca traversleri iki mesnet üzerine oturmuş kiriş gibi eğilmeye kontrol edilmektedir. Şekil 2.2’de kanca traversi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kanca traversi

Kancanın traverse yatakladığı aksenal yuvarlanmalı yatağın dış çapı D_r ve iç çapı d_r ise yatak için ortalama D_m çapı :

$$D_m = \frac{D_r + d_r}{2} , \text{ mm' dir.} \quad (2.1)$$

$$M_{eğ} = (Q/2)(L/2) - (Q/2)(D_m/\pi) , \text{ N.mm} \quad (2.2)$$

Ortadaki mukavemet momenti (h – traversin yüksekliği olmak üzere) :

$$W \approx \frac{1}{6} . (b - d) . h^2 , \text{ mm}^3 \quad (2.3)$$

olup, eğilme gerilmesi

$$\sigma = \frac{M_{e\ddot{g}}}{W} \leq \sigma_{em}, \text{ N / mm}^2 \quad (2.4)$$

dir.

Travers muylusu da eğilmeye hesaplanır. (m – muylu uzunluğu, d_m - muylu çapı)

$$M_{e\ddot{g}2} = Q / 2 \cdot m / 2, \text{ N.mm} \quad (2.5)$$

$$W_2 = \frac{\pi \cdot d_m^3}{32}, \text{ mm}^3 \quad (2.6)$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{e\ddot{g}2}}{W_2} \leq \sigma_{em}, \text{ N / mm}^2 \quad (2.7)$$

m ve d_m aynı zamanda makara ölçüleridir.

Ayrıca muylunun ezilmeye göre kontrolü de yapılmalıdır.

$$p = \frac{P}{F} = \frac{\frac{Q}{2}}{d_m \cdot m} \leq p_{em}, \text{ N / mm}^2 \quad (2.8)$$

Makara burçlarının yüzey basınç gerilmesi 9 – 12 N / mm² dir [3].

2.2.2 Kanca traverslerinin tam hesabı

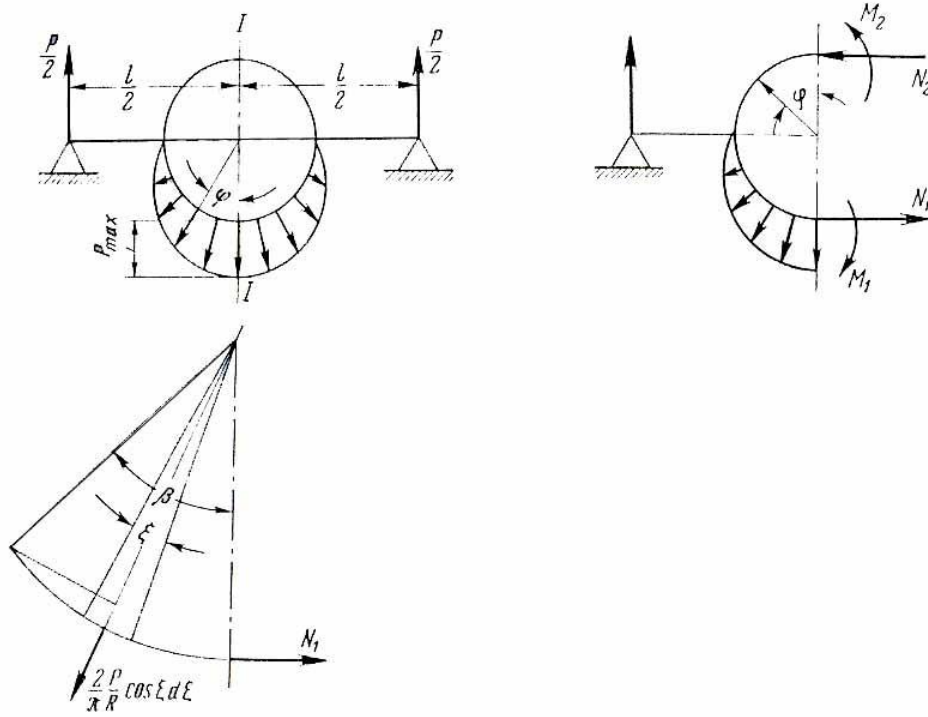
Eğer traversin üzeri, sürtünmeyi önlemek için rulman yerleştirilecek şekilde tasarlandıysa, birleşim yüzeyindeki basınç yarım bir silindir üzerinden etki ediyormuş gibi kabul edilebilir.

$$p_c = p \cdot \cos \varphi \quad (2.9)$$

p 'yi eksen üzerinde alırsak denklemden

$$p = \frac{2 P}{\pi R} \quad (2.10)$$

sonucunu buluruz.



Şekil 2.3 Bir travers için hesaplama diyagramı

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi $I-I$ diye hayali bir kesit geçirip, sağ tarafı elersek ve daire kesiti üzerindeki elastik kuvvetleri gösterirsek, sol taraf denge formülünü aşağıdaki şekilde yazabiliriz :

$$N_1 - N_2 - \frac{2}{\pi} P \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{Pl}{4} + M_1 - M_2 - (N_1 + N_2) R = 0 \quad (2.12)$$

Ekstra bilinmeyenler olarak M_1 ve N_1 'i aldık. (2.11) numaralı denklemden N_2 'yi çekersek

$$N_2 = N_1 - \frac{P}{\pi} \quad (2.13)$$

Daha sonra da N_2 'yi (2.12) numaralı denklemde yerine koyarsak

$$M_2 = M_1 - 2.N_1 R + \left(\frac{1}{4} \frac{l}{R} + \frac{1}{\pi} \right) PR \quad (2.14)$$

Alt yarım dairedeki seçili kesitteki eğilme momenti

$$M_\varphi = M_1 - N_1 R_1 (1 - \cos\varphi) + \frac{2}{\pi} PR \int_0^\varphi \cos\xi \sin(\varphi - \xi) d\xi \quad (2.15)$$

veya

$$M_\varphi = M_1 - N_1 R (1 - \cos\varphi) + \frac{1}{\pi} PR \varphi \sin\varphi \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial M_\varphi}{\partial M_1} = 1, \quad \frac{\partial M_\varphi}{\partial N_1} = -R (1 - \cos\varphi) \quad (2.17)$$

Alt yarım dairedeki seçili kesitteki eğilme momenti

$$M_\beta = M_2 + N_2 R (1 - \cos\beta) \quad (2.18)$$

(2.13) ve (2.14) denklemlerini kullanarak denklem M_β için şu şekilde gelir

$$M_\beta = M_1 - N_1 R (1 + \cos\beta) + P \left(\frac{l}{4} + \frac{R}{\pi} \cos\beta \right) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial M_\beta}{\partial M_1} = 1, \quad \frac{\partial M_\beta}{\partial N_1} = -R (1 + \cos\beta) \quad (2.20)$$

Traversteki deformasyonun toplam potansiyel enerjisi üç bileşenin toplamıdır : Doğrusal parçanın (U_1), alt yarım dairenin (U_2) ve üst yarım dairenin (U_3) potansiyel enerjileri.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (2.21)$$

U_1 , M_1 ve N_1 'in bir fonksiyonu olmadığından en az iş prensipine göre

$$\frac{\partial(U_2 + U_3)}{\partial M_1} = 0 \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial(U_2 + U_3)}{\partial N_1} = 0 \quad (2.23)$$

Normal ve kesme kuvvetlerinden oluşan potansiyel enerjisi yok sayılabilir çünkü bükme momenti sonucu oluşan potansiyel enerjiye kıyasla çok küçük kalırlar.

$$U_2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{M_\varphi^2}{EI} R d\varphi \quad (2.24)$$

$$U_3 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{M_\beta^2}{EI} R d\beta \quad (2.25)$$

Buradaki I daire kesitindeki atalet momentidir. (2.22) ve (2.23)'deki açılmış denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} & \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[M_1 - N_1 R (1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\pi} P R \varphi \sin \varphi \right] d\varphi + \dots \\ & \dots \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[M_1 - N_1 R (1 + \cos \beta) + P \left(\frac{l}{4} + \frac{R}{\pi} \right) \cos \beta \right] d\beta = 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[M_1 - N_1 R (1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\pi} P R \varphi \sin \varphi \right] (1 - \cos \varphi) d\varphi + \dots \\ & \dots \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[M_1 - N_1 R (1 - \cos \beta) + \frac{1}{\pi} P \left(\frac{l}{4} + \frac{R}{\pi} \right) \cos \beta \right] (1 + \cos \beta) d\beta = 0 \end{aligned} \quad (2.27)$$

Uygunluğun sağlanabilmesi için ilk denklemin bütün terimlerini ikinciden çıkartırsak, sonucu integre eder ve dönüşümleri yaparsak bir denklem sistemi elde ederiz.

$$4\pi N_1 R - P (R + 2l) = 0 \quad (2.28)$$

$$\pi M_1 - \pi N_1 R + P \left(2 \frac{R}{\pi} + \frac{\pi l}{8} \right) = 0 \quad (2.29)$$

Bu denklemleri çözersek

$$N_I = \frac{1}{4\pi} \left(1 + 2 \frac{l}{R} \right) P \quad (2.30)$$

$$M_I = \left(-0,12 + 0,034 \frac{l}{R} \right) PR \quad (2.31)$$

bulunur. Eğer rulmanın dış dairesi traversin içerisine basınçla yerleştirildiyse bu traversin işletmesi sırasında rijitliğini arttıracak şekilde etki eder. Bu durum hesaplamalarda göz ardı edilmiştir [4].

Örnek :

Güç sınıfı S, çalışma grubu 2m, kaldırma kapasitesi 1000kg olan kanca grubunun hesapları iki farklı yöntemle yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Kanca blok numarasının seçimi :

DIN 15400'den kanca numarası seçilir. Kanca numarası ile kanca traversleri aynı numaraya sahiptirler. Bu durumda, seçilen kanca numarası ile kanca traversi 05 numaraya sahiptir. DIN 15412'den 05 numaraya sahip kanca traversinin sadece A tipinde olacağı görülür.

- Kanca traversinin basit hesabı :

Burada $Q = 1000\text{kg} = 10000\text{N}$ 'dur. $L/2$ değeri yerine ise $(b_1/2 + b_5/2)$ değeri alınabilir. 05 numaralı kanca için $b_1 = 45\text{mm}$ $b_5 = 12,5\text{mm}$ 'dir.

2.1 formülündeki ortalama çap olan D_m , A tipi traversler için d14 olarak alınabilir. 05 numaralı travers için d14 değeri 31mm'dir.

Bu değerleri 2.2 numaralı formülde yerine koyarsak, eğilme momenti :

$$M_{eğ} = (Q/2) \cdot (L/2) - (Q/2) \cdot (D_m/\pi) = (10000/2) \cdot (22,5 + 6,25) - (10000/2) \cdot (31/\pi) = 94411,96 \text{ Nmm bulunur.}$$

Burada 05 numaralı traverste, $b = b_1 = 45\text{mm}$, $d = d_2 = 21\text{mm}$, $h = h_3 = 25\text{mm}$ 'dir

2.3 numaralı formülden

$$W \approx \frac{1}{6} \cdot (b - d) \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot (45 - 21) \cdot 25^2 = 2500 \text{ mm}^3 \text{ bulunur.}$$

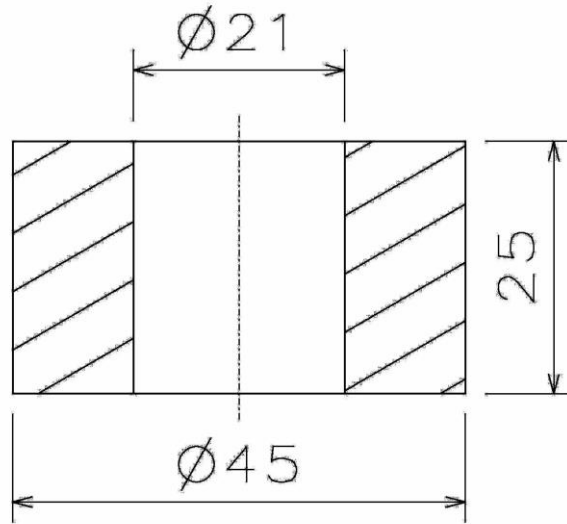
$\sigma = \frac{M_{eğ}}{W} = 94411,96 / 2500 \approx 37,76 \text{ N/mm}^2$ bulunur. Bu değer DIN 15400'de sayfa2'de bildirilen StE 420'nin değeri olan 420N/mm^2 den düşük olduğu için emniyetlidir.

- Kanca traversinin Strasolesky'e göre hesabı :

Kesiti şekil 2.4'de görülen 05 numaralı kanca traversinde b uzunluğu 25 mm, h uzunluğu $(45 - 21) / 2 = 12 \text{ mm}$ 'dir.

Kesit alanı $F = b.h = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$ dir.

$W = b \cdot h^2 / 6 = 25 \cdot 12^2 / 6 = 600 \text{ mm}^3$ dür.



Şekil 2.4 05 numaralı kanca traversinin kritik kesiti

Burada $R = (45 + 21) / 4 = 16,5 \text{ mm}$ 'dir. $l = b_6 = 70 \text{ mm}$ 'dir. Tüm değerleri (2.30) numaralı denklemde yerine koyarsak alt kesime etki eden normal kuvvet

$$N_1 = \frac{1}{4\pi} \left(1 + 2 \frac{l}{R} \right) P = \frac{1}{4\pi} \left(1 + 2 \frac{70}{16,5} \right) 10000 \approx 7547,8 \text{ N olarak bulunur.}$$

Üst kesime etki eden normal kuvvet ise (2.13) numaralı denklemden

$$N_2 = N_1 - \frac{p}{\pi} = 7547,8 - \frac{10000}{\pi} \approx 4364,7 \text{ N olarak bulunur.}$$

Alt yarım dairedeki eğilme momenti (2.31) numaralı denklemden

$$M_1 = \left(-0,12 + 0,034 \frac{l}{R} \right) PR = \left(-0,12 + 0,034 \frac{70}{16,5} \right) 10000 \cdot 16,5 = 4000 \text{ N.mm}$$

Üst yarım dairedeki eğilme momenti (2.14) numaralı denklemden

$$M_2 = M_1 - 2 \cdot N_1 R + \left(\frac{1}{4} \frac{l}{R} + \frac{1}{\pi} \right) PR = 4000 - 2 \cdot 7547,8 \cdot 16,5 + \left(\frac{1}{4} \frac{70}{16,5} + \frac{1}{\pi} \right) \cdot$$

$10000 \cdot 16,5 = -17556,3 \text{ N.mm}$. Burada işaret ters dönmüştür. M_2 değeri = $17556,3$ olarak alınır. Eğilme gerilmesi değeri ise

$$\sigma_{\max} = \frac{M_2}{W} + \frac{N_2}{F} = \frac{17556,3}{600} + \frac{4364,7}{300} \approx 43,81 \text{ N/mm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİK

Mühendislerin iş ve görevlerini bir bilgisayar yardımıyla yapmalarına, bilgisayar destekli mühendislik (BDM) denir. Bu görevler, bir mühendis tarafından yönetilir ve kontrol edilirler.

BDM iyi kurulmuş bir alandır fakat tam biçimlendirilememiştir ve çok parçalıdır.

BDM tüm BDT ve BDİ alanlarını kapsar. BDT; tasarım işleminde bilgisayarların kullanımını gerektirir. BDİ; numerik olarak kontrol edilen (NC) makina takımları, otomatik test araçları ve üretim kontrol teknikleri ile uğraşır. BBİ ise tasarım ve üretim arasında köprü oluşturur.

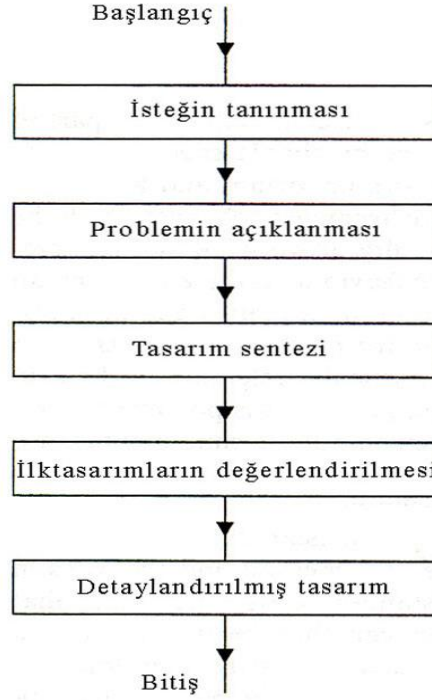
3.1 Tasarım Ve Mühendislik Tasarımı Kavramları

Tasarım, sözlük anlamı olarak ‘bir plan sonrasında biçimlendirmek’ demektir. Tasarım, daha önceden çözülmemiş olan problemlere çözümler bulmak veya daha önceden bulunan çözümlere farklı yollar kullanarak yenilerini eklemektir.

Mühendislik tasarımı ise insan yapımı nesnelerin tanımlarının sistematik olarak ve akıllıca geliştirilmesidir. Bu geliştirme sırasında, nesnelerin fonksiyonlar ile belirtilen amaçlara ulaşmaları ve tanımlanmış sınırlandırmaları sağlamaları gerekmektedir.

3.2 Mühendislik Tasarımı Süreci

Tasarım sürecinde izlenen adımlar üzerine çok farklı araştırmalar yapılmış, fakat insanların çoğu tasarım sürecini benzer terimlerle açıklamışlardır. Tasarım sürecindeki ana adımlar şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Tasarım sürecindeki adımlar

- İsteğin tanınması : İstek, tasarımcıya piyasa araştırmaları tarafından gelebilir. Yeni bir model yada mevcut bir modelin modifiye edilme isteği olarak da gelebilir.
- Problemin açıklanması : İstenilen ürünün tam olarak teknik özellikleri, tasarımcılar ve ürünü isteyenler (ör : piyasaya yada son kullanıcıya satacak kişiler) arasında danışılarak geliştirilir. Böyle bir tanım, ürünü tanımlayan tüm teknik bilgiyi içermelidir. Fonksiyon, malzeme, görünüş, çevresel etkiler, ürün ömrü, güvenilirlik, değiştirilebilirlik, parçaların standartizasyonu, bakım ve servis istekleri ve fiyatları gibi tüm tasarım hususlarını kapsamalıdır. Sonra da tasarımın karşılaması gereken kriterler detaylandırılmalıdır.
- Tasarım Sentezi : Kaba fikirler olarak birkaç çözümün geliştirildiği aşamadır. Bu aşamada ürünün geometrisi çok önemlidir. Geometri sadece ürünün fonksiyonu ile değil, üretim yöntemi ve kullanılacak malzemeye göre belirlenir.
- İlk tasarımların değerlendirilmesi : Tüm tasarımlar istenilen tanımları sağlamak için teste tabi tutulurlar. Basit fiziksel testler ve bilgisayar modellemesi ile istekleri karşılayamayan tasarımlar elenir. Sonuçta mevcut tasarımlar arasındaki en iyi tasarım seçilir.
- Detaylandırılmış tasarım : Seçilen tasarım; malzeme, boyut, toleranslar ve şekil olarak tam anlamıyla tanımlanır ve üretilir.

Şekil 3.1'deki adımlarda bir basamaktan diğer basamağa direkt olarak geçiliyor gibi gözüksede gerçekte geriye dönüşler, düzeltmeler ve optimizasyonlar olabilmektedir.

Ayrıca eş zamanlı mühendislik adı verilen ve tasarımla ilgili tüm insanların katılımıyla bu geriye dönüşlerin sayısı arttırılabilir ve daha tasarım aşamasındayken oluşabilecek problemler belirlenebilir. Eş zamanlı mühendislik, pahalı hatalardan kaçınmamızı ve ürün çevrim zamanının düşmesini sağlar [5].

3.3 BDT'in Tarihçesi

1962 yılında Ivan Sutherland (MIT) tarafından geliştirilen SKETCHPAD sistemi, BDT'in başlangıcı olarak kabul edilir.

BDT'in tarihi bilgisayar donanımlarının gelişimi ile yakından ilgilidir. 1960 ve 1970'li yıllardaki bilgisayar sunucularının fiyatları, onların yalnızca büyük firmalar tarafından alınabilmelerini sağlamaktadır. Ayrıca 3B'lu modelleme daha fazla hesap gücü gerektirdiği için 1980'lerin başına kadar 2B'lu yazılımlar tercih edilmiştir.

İlk yıllardaki 3B'lu yazılımlar firmalara özeldi ve sadece o firmada yapılan modellerin kolayca yapılmasını sağlamaktaydılar. Daha sonra geliştirilen 3B'lu ticari yazılımlar daha genel anlamda modeller üretilmesini sağladılar. Ayrıca 1980'lerde geliştirilen bilgi transfer standartları modellerin bir sistemden diğerine aktarılmasını sağladılar.

3.4 Üç Boyutlu Geometrik Görünüşler

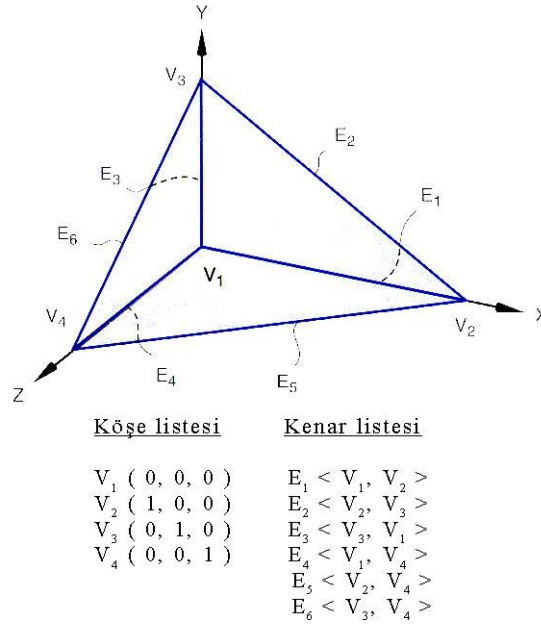
3 boyutlu modelleme BDT'in hızla gelişen bir sahasıdır ve endüstriyi, tasarım sürecine bilgisayarları entegre edecek şekilde değiştirmektedir. 1980'lerin başından beri bulunan 3B'lu ticari yazılımlar, değişik endüstriler içinde kullanılmaya başlanmıştır.

3 Boyutlu Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) modelleri üç farklı modelleme yöntemi ile yapılmış olabilirler:

- Tel kafes modelleme: Sadece uzaydaki noktaları ve onları birleştiren çizgileri içerir. Nesnelere, kenarları ile gösterilirler.
- Yüzey modelleme: Tel kafesin kenarları, matematiksel tanımlanmış alanlarla kapatılmıştır.
- Katı modelleme: Yüzeylerle kapatılmış alan tanımlanmıştır ve kapalı bir hacim oluşturur.

3.4.1 Tel kafes modelleme

En basit 3B'lu modelleme yöntemi, "Tel Kafes Modelleme Yöntemi"dir. Bu modelleyici 2B'lu BDT'nin doğal gelişimi ile oluşmuştur ve veri tabanında iki tip eleman saklamaktadır. Bunlar köşeler ve kenarlardır. Şekil 3.2'de gösterilen dört yüzlüdeki köşeler listesi, modelin geometrik bilgisini saklar. Her köşe (X, Y, Z) koordinatı ile tanımlanmıştır ve modeli uzayda sabitler. Modelin topolojisi ise kenarlar listesi ile tanımlanmaktadır. Kenar listesi koordinat bilgisi içermez. Bir kenarın pozisyonu, oryantasyonu ve uzunluğu indirekt olarak kenarın köşelerindeki noktaların hesaplanması sonucu bulunur.



Şekil 3.2 Bir tel kafes modelinin köşe ve kenar listesi

Bir tel kafes modeli, boyut, pozisyon ve oryantasyonu barındıran yüzler hakkında da bilgi içerebilir. Kenarların iki nokta ile tanımlanmaları gibi, yüzlerde üç veya daha fazla kenar ile tanımlanırlar. Fakat tel kafes modelleme nesnenin yüzeyi hakkında bilgi içermez. Kenarlar arasındaki alanı tanımlayan bir 'deri' yoktur.

Tel kafes modellemenin bir avantajı, uygulamasının kolay olmasıdır. Çünkü basit tel kafes modelleyici 2B'lu BDT programı gibi sadece köşe ve kenar bilgisini barındırır. Oluşturulan modelin doğru bir model olmasını sağlayan kurallar kodun içerisine eklenebilir yada kullanıcıya bırakılabilir. Tel kafes modelleme ayrıca hesapsal olarak da hızlıdır. Eski bilgisayar sistemlerinde tel kafes modelleme tek 3B'lu modelleme seçeneğidir.

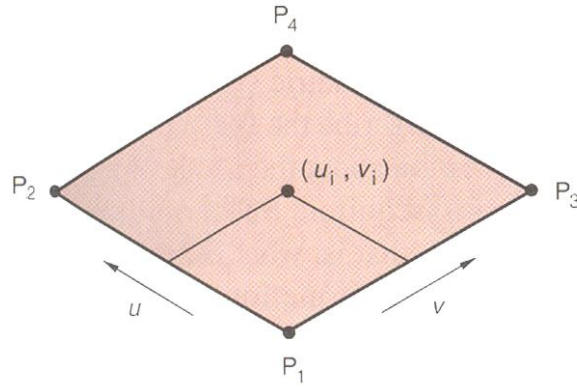
3.4.2 Yüzey modelleme

2. Dünya savaşı sırasındaki üretim baskısı ve savaştan sonra genişleyen tüketici pazarı, eğrisel yüzeylerin matematiksel tanımını içeren sistemlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Parametrik teknikler, Steven A. Coons'un yüzeyin üç boyutta da eğriselliğini tam olarak tanımlayan bir yol benimsemesiyle, popüler hale gelmiştir. Yüzey modelleri, yüzey unsurlarını nesnenin köşeleri gibi tanımlar.

Parametrik tekniklerde, matematiksel bir fonksiyon eğrinin yolunu tanımlar. Bir parametre, u , 0 dan 1'e doğru giderken eğri üzerindeki tüm noktaları tanımlar. Parametrik formun avantajı, eğri değiştirilmek istendiğinde ortaya çıkar. Örneğin eğriyi taşımak için sadece P1 ve P2 noktaları taşınır ve eğriyi oluşturan matematiksel terim olan u değişmez.

Bu tekniği 3B'a genişletmek için iki parametre kullanılır. (P1, P2) ve (P4, P3) çizgileri arasındaki noktalar u , diğer çizgilerdeki noktalar (P1, P3) ve (P4, P2) ise v parametresi ile tanımlanır. u ve v değerlerini değiştirerek, yüzeydeki ve hatta yüzeyi çevreleyen doğruların üzerindeki noktaları tanımlayabilirsiniz.

Şekil 3.3'de gözüken düz doğrular u 'nun yalnızca ilk kuvveti olan u^1 i kullanan matematiksel fonksiyonlar ile tanımlanmıştır. Bu doğrular birinci derece eğrileri olarak adlandırılırlar. Bir grup matematikçi ile beraber Pierre Bezier, daha fazla esneklik sunan yüksek dereceden eğrileri üretmiştir. Üçüncü dereceden eğriler; u^1 , u^2 ve u^3 ü kullanan matematiksel fonksiyonlar ile tanımlanmıştır. Bezier, B-Spline ve NURBS'ler, parametrik eğrilerin kübik (üçüncü dereceden) üç şeklidir.

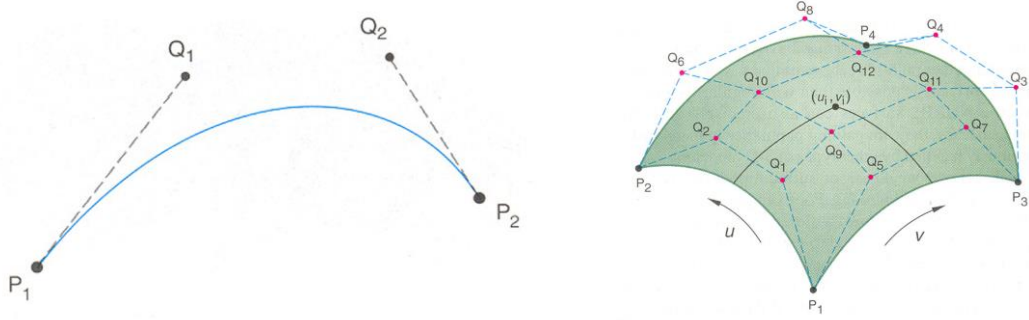


Şekil 3.3 Bir yüzeyin parametrik gösterimi

Bezier eğrisinde, iki uç nokta (P1, P2) ve eğriselliğin derecesini kontrol eden iki nokta (Q1, Q2) vardır. Bu dört nokta, eğrinin kontrol noktaları olarak adlandırılırlar. P1-Q1 ve P2-Q2 arasında çizilen düz çizgiler, her zaman eğrinin iki ucuna tanjanttır.

Bu çizgiler eğriyi kolaylıkla değiştirmeye yararlar. P1 ve P2 hareket ettirilerek çizginin yeri, Q1 ve Q2 hareket ettirilerek çizginin eğriselliğini değiştirilir.

İkinci bir parametre olan v kullanılarak üçüncü boyut eklenebilir. Üçüncü dereceden fonksiyon ile tanımlanan dört kenar bikübik yüzey yaması oluşturur. Şekil 3.4'deki bikübik yüzey yaması 4 bitiş noktasına (P) ve 12 kontrol noktasına (Q) sahiptir. Yüzey yaması yüzeyin bir kısmıdır ve modelleme sırasında bir çok yüzey yaması nesnenin yüzeyini oluşturmak için birleştirilir.



Şekil 3.4 Kübik Bezier eğrisi ile Bezier bikübik yüzey yaması

Bezier yüzey yamalarının avantajı, doğal yüzeylerin kolaylıkla oluşturulmasıdır. Yalnız iki tane dezavantajı vardır. Birincisi yerel değişikliklere izin vermezler. Bir kontrol noktasındaki değişiklik tüm yamanın şeklini değiştirir ve iki yamanın birleşimini sağlayan kenarı etkiler. Bu, düzgün bir yüzey oluşturmak için gereken süreklilik seviyesinin bozulması demektir. İkinci dezavantajı yamanın tam olarak pozisyonunun kontrol edilememesidir. Bu da modelin kesinliğini azaltır.

B-spline eğrileri ise yerel kontrollere olanak tanırlar. Bir noktanın yerinin değiştirilmesi tüm yüzeyi etkilemez. B-spline'lar ile önceden belirlenmiş noktalar ve eğriler yardımıyla bir yüzey tanımlamak çok daha kolaydır. NURBS'ler B-spline'ların bir çeşididir ve her noktaya bir ağırlık değeri verilebilmesini sağlarlar. Ağırlık değeri, bazı noktaların şekil üzerinde diğer noktalara göre daha fazla etkilerinin olmasını sağlarlar. NURBS yüzeyleri konik yüzeyleri tam olarak tanımladığından, popülerlikleri artmaktadır.

Yüzey modelleyecilerin bir zayıflığı, topoloji ile baş edememeleridir. Örneğin bir sürü yamadan oluşan bir yüzey üzerinde delik delinmek istenildiğinde, yüzeyi geçtikten sonra matematiksel boşluk ile karşılaşılır.

Daha önceden belirtildiği gibi yüzey modelleyicilerin değersiz olduğu durumlar vardır. Hava, otomobil ve gemi endüstrilerinde tam ve kesin matematiksel

tanımlanmış eğrisel yüzeyler kullanılmaktadır. Nesnenin yüzeyinin bilgisi çoğu zaman üretimde en kritik elemandır. Yüzeyin bilgisi ayrıca analiz ve üretim araçlarındada sıkça kullanılmaktadır.

3.4.3 Katı modelleme

Tasarım ve üretim işlerinde fabrikadaki görevlerin bütünleştirilmesi için tutarlı ve eşsiz bir ürün tanımına ihtiyaç vardır. Bu tanımın pratik olarak uygulanması bilgisayar grafikleri sayesinde yapılmaktadır. Bu tanımın özünde, ürünün geometrisi (şekli) vardır. Dünyada üç uzaysal boyut vardır bu yüzden bilgisayar modelleri üç boyutlu olmalıdır.

Katı modeller en az belirsizlik içeren modellerdir ve üç formun en gerçekçi olanıdır. Diğer iki forma göre, oluşturulmaları ve yönetilebilmeleri için, çok daha fazla hesaplama gücüne ihtiyaç duyarlar. Katı modelleme (KM) tasarımcılara cazip gelir çünkü özellikle simetri içermeyen karmaşık modellerin yapımı, yüzeylere göre daha hızlı gerçekleştirilebilir. Karmaşık şekillerin tel kafes gösterimleri görsel olarak zor anlaşılır çünkü bilgisayar gösterimi ve kağıt çıktısı nadiren derinlik belirtisi verir. Bütün kenarları bir seferde görmek belirsizliklerden dolayı anlama karışıklığına yol açabilir.

Karmaşık nesne daha küçük sayıdaki katı bileşenlerine (primitif veya ilkel diye adlandırılan) ayrıştırılabilir. Düşünüldüğünde katı ilkelerin de yüzeylere ve yüzeylerinde çizgi ve noktalara ayrıklaştırılabileceği aşikardır.

Katı ve yüzey modelleri, gizlenmiş çizgiler ve gizlenmiş yüzeylerin silinmesiyle tel kafes modellerine göre çok daha gerçekçi olan görüntülerin oluşturulmalarını sağlarlar.

Bazı şekiller katılar yerine yüzeylerle gösterilebilirler. Bu durum katı modellemenin üstünlüğüne inanan tasarımcıları bile bazı durumlarda yüzeyleri kullanmaya zorlar. Çoğu KM sistemi yüzey ve katı yeteneklerini bütünleştirmiştir.

Katıların en önemli özelliği bütünleştirilmelerinin hesapsal olarak belirlenmesidir. Diğer bir deyişle bilgisayar destekli KM yazılımı, verilen nesnenin mantıklı bir katı olup olmadığını söyleyebilir. Bu, KM sistemlerinde tasarlanmış olan nesnelerin üretilebilmesini sağlar.

Her ne kadar verilen katı, geometrik olarak tam ve doğru olsada, bunun konvansiyonel üretim yöntemleri (döküm, kesim, freze vb.) ile üretimini garantilemeyeceğini aklımızda bulundurmalıyız. Bu olumsuzluğu uzaklaştırmak için günümüzde hızlı prototipleme sistemleri kullanılmaktadır ve HP ile herhangi bir katı üretilebilmektedir.

Bütünleştirmelerin hesapsal olarak belirlenmesi sayesinde parça montajlarındaki karışıklıklarlarda otomatik olarak test edilebilir. Büyük sistemleri tasarlayanlar için bu çok önemlidir.

Katıları hesapsal olarak doğru yapan, geometrilerine ek olarak topolojileri ile de tanımlanmalarıdır. Uzatma veya döndürme gibi elastik deformasyonlar sonucu değişmeyen şekil özellikleridir. 3B uzayda 3B'lu geometrilerin topolojiye bağlı olarak geometrik montajının mantıklı olup olmadığını belirleyen algoritmalar (euler formülü vb.) vardır. Tasarımcıya şekil değişikliği yapması için bir çok alternatif sunarken onların katı olmayan bir şekil oluşturmalarını önlemek için, kullanıcı dostu KM sistemlerini oluşturanlar ciddi bir programlama sınavı vermektedirler [6].

3.5 Katı Modellemenin Önemi

Katı modelleme bilgisayarların tasarımcılara sunduğu verimlilik sözlerini sağlamak için anahtar rolde olduğu için önemlidir.

Tasarım karışık bir süreçtir. Formüldeki boşlukları doldurmak ve en iyi çözüme ulaşmak gibi kolay bir şey değildir. Analizle birlikte bir çok deneme-yanılma içeren iteratif bir süreçtir. Analiz şu ana kadar oldukça otomatikleştirilmiştir. Bu alanda şu anda yapılan çalışmalar matematiksel detayları anlamayan tasarımcıların analiz araçlarını kullanmalarını sağlayacak yöndedir.

Tasarım sürecinin bilgisayar gelişimi ile etkilenen sonraki bölümü tasarımın doğrulanmasıdır. Bu aşamada tasarımın prototipi oluşturulur ve test edilir. Genellikle tasarım sürecinden üretime geçilmeden önce, prototip değişikliklere uğrar ve tekrar testlere tabi tutulur.

Bilgisayarlar 'yazılım' prototipleri üretmemizi olanaklı kılar. Bu modeller sadece bilgisayarın hafızasında var olurlar. Bu modeller bilgisayar destekli simülasyonlara tabi tutulurlar ve sonuçları gerçek bir prototip üretmekte kullanılır.

Tasarımı bilgisayarda onaylamanın en önemli faydaları hız, fiyat ve esnekliktir. Bir modeli bilgisayarda oluşturmak gerçekte oluşturaktan çok daha hızlı ve ucuzdur. Dahası bilgisayar destekli simülasyonlar fiziksel prototiplerin maruz kaldığı gerçek dünya koşullarının daha iyi bir tanımlaması olabilmektedirler.

Yazılım prototipinin pratik olabilmesi için gerçek dünyayı mümkün olduğunca tam olarak göstermelidir. Nesne geometrisi BDT sistemlerinde genellikle üç seviyede gösterilir. Önceden bahsedildiği gibi bu üç seviyenin ilki ve en basiti tel kafes olarak adlandırılmaktadır. Bu gösterimde noktalar, çizgiler, eğriler ve yazı 2 yada 3 boyutta modellenir. Çizimler tel kafes geometrisi ile oluşturulurlar.

Numerik kontrollü (NC) makineleri ile metal kesme gibi bazı üretim görevleri için daha gerçekçi gösterimler gereklidir. NC takım yollarını tasarlamak için kullanılan bilgisayar destekli imalat (BDİ) sistemleri tel kafes sistemine ek olarak ikinci seviye ‘yüzey’ geometrilerini kullanırlar. Çünkü parçayı sınırlandıran tüm alan, kesici takımın nereye gideceğini göstermelidir.

Fakat en yüksek gerçekçilik için, parçanın iç sınırlarının tanımlanması gereklidir. Bunun için üçüncü seviye olan KM’ye ihtiyaç duyulur. KM parçanın tüm geometrisini tam olarak tanımlarlar. Katı modeller ayrıca parçaların montajda birbirleri ile çakışıp çakışmadığının tespiti için de kullanılırlar. Tel kafes ve yüzey tanımları ile bu mümkün değildir.

3.6 Katı Modelleme Sistemlerinin Çeşitleri

Katı modellerin gösterimine çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir, bazıları ticari olarak uygulanmamaktadır. En popülerleri :

1. Konstrüktif katı geometrisi (CSG)
2. Sınır gösterimi (B-rep)
3. Hibritler
4. Sabitleme tabanlı katı modelleme

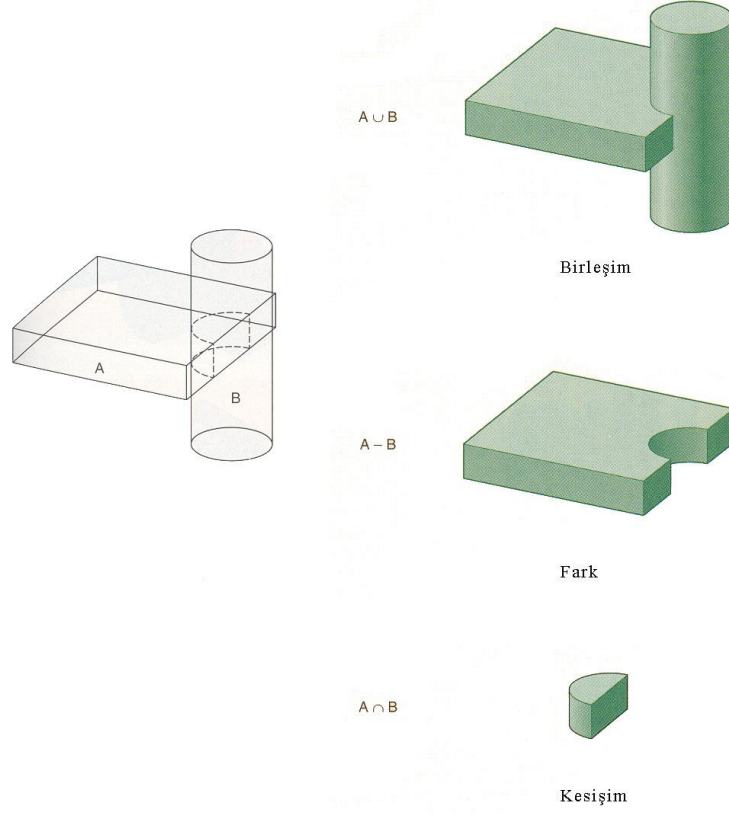
Bütün yaklaşımlar takip eden bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.6.1 Konstrüktif katı geometrisi

Bu yaklaşımda, geometrik ilkeler şekil 3.5’te görülebileceği gibi, boolean operasyonları sayesinde birleştirilirler. CSG sistemleri ilkelerin ve onlarla kullanılan operasyonların kaydını tutar. Parça her gösterilişinde, ilkeler ve operasyonlar ‘ağacından’ tekrar hesaplanır. Bu nedenle CSG veri tabanları diğer gösterimlerle kıyaslandığında küçüktür ama gösterim zamanları daha uzundur.

Katı modelleme yapmaya olan eğilim, fabrika profesyonellerine CSG sistemlerini çekici yapmıştır. Nesnelerin katı modeller etrafında odaklanması, unsur tabanlı modellemeye (feature based) geçişi kolaylaştırmıştır. Unsur tabanlı modellemede nesnelere ve operasyonlar, mekanik tasarım ve üretimdeki benzerleri gibi kullanılırlar. Matematiksel olarak yönlendirilmiş boolean operasyonlarından, parça tasarımcıları ve üretim mühendislerinin sıkça rastladığı fabrika operasyonlarına geçiş için bir basamaktır. Tasarımcıyı soyut geometriler yerine unsurlarla çalıştırarak, sistem tasarım planının kaydını muhafaza eder. Genel tasarım teorisi bunu en son tasarımın güvenilirliği için önemli bulur.

CSG modelinin gelişimi gösterim zamanlarında meydana geldiğinden, sistemler çabuk gösterim için kaba gösterimler, NC takımyollarının oluşturulması içinse daha hassas gösterimler uygulanır.



Şekil 3.5 CSG sisteminde boolean işlemleri

3.6.2 Sınır Gösterimi

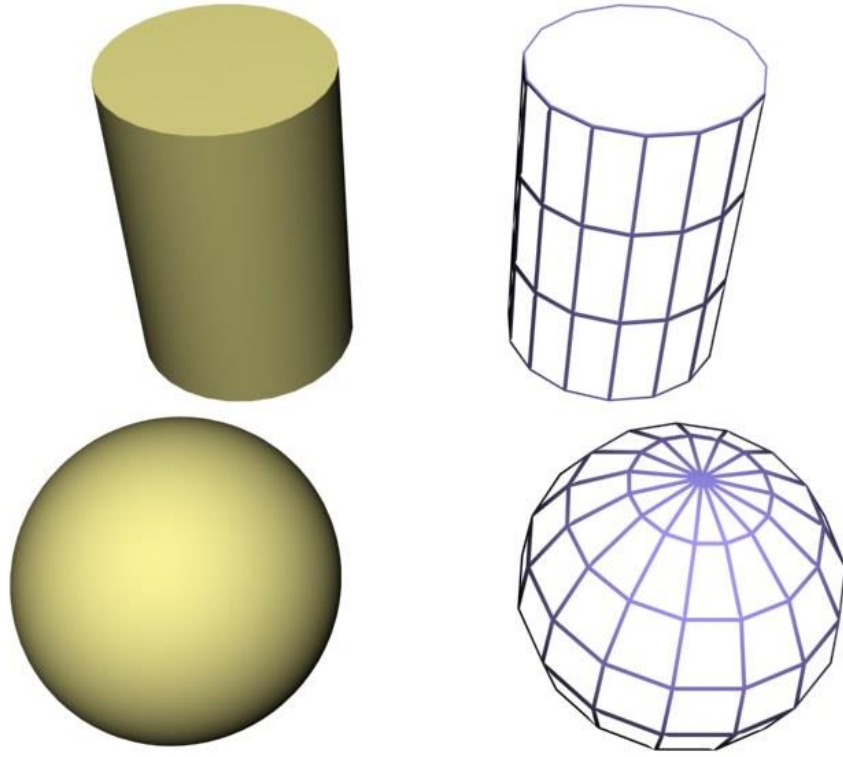
Uzay boyutlarının içinden geçmek zor bir kavram gibi gelse, B-rep sistemlerinde dolaylı olarak yapılan budur. Yüksek boyutlu geometrilerin daha düşük boyuttaki nesnelere ile çevrildiği gerçeği B-rep sistemlerinin açık 'ağaç' sınırları ile sürdürmesini sağlar. Bir katı yüzeyler tarafından çevrelenir, bir yüzey çizgiler tarafından ve çizgiler ise noktalar tarafından çevrelenirler.

Katıları çevreleyen yüzeylerin ve onları çevreleyen çizgilerin ve onları çevreleyen noktaların koordinatları B-rep sistemlerinde açıkça depolanır ve geometrik bağlantılar göstergelerle korunur. Sonuç olarak yakın parçalar için B-rep dosyaları CSG sistemindeki dosyalar oranla daha büyüktür. Fakat gösterim performansı B-rep'ler için daha hızlıdır çünkü model gösterim zamanında 'geliştirilmek' zorunda

değildir. Yani CSG modelin her gösteriminde ilkeler üzerinde uygulanan boolean operasyonlarının yapılmasına gerek yoktur.

B-rep sistemleri saklama geometrileri yüzeylere açık (explicit) olarak çokgenler şeklinde yaklaştığından ve yaklaşım gösterim zamanını azaltmak için kaba olarak yapıldığından, CSG sistemleri kadar hassas değildir diye bir anlayış vardır. Bu bir yanlış anlayıştır. Eğer tasarımcı performans için gerekli karşılığı verirse (zaman açısından) B-rep modelleri istenildiği kadar hassas olabilir.

Şekil 3.6'da sarı renk ile gerçek geometriler ve mavi renk ile bunların B-rep yaklaşımları görülmektedir. Yüz sayısı arttırılırsa, yukarıda da anlatıldığı gibi, daha gerçekçi gösterimlere ulaşılabilir.



Şekil 3.6 Gerçek yüzeyler ve çokgen yaklaşımları

3.6.3 Hibritler

Şu anda piyasadaki çoğu KM sistemi CSG ve B-rep'i hibrit olarak kullanmaktadırlar. CSG içsel gösterim için ve B-rep ise daha çok görünüşlerin oluşturulmasında kullanılmaktadır. CSG modelleri geliştirilmemiş olarak depolandığından, çözünürlükten bağımsızdırlar. Modellerin B-rep kullanılarak çokgenleştirilmesi, çözünürlük ve gösterimde istenilen hızlara ulaşmamızı sağlar.

3.6.4 Sabitleme tabanlı katı modelleme

Sabitleme tabanlı katı modelleme, ilkelerin (primitif) geometrik olarak birleştirilmesinden farklı olarak parçanın kesitini gösteren bir 2 boyutlu taslak ile başlar ve diğer yöntemlerde karşılaşılan sorunların çözümü niteliğindedir. Buradaki taslak, serbest elle çizilmiş taslağa benzer. Tek fark BDT programının düz çizgiler ve kusursuz eğriler çizmesidir. İlk taslak tam olarak doğru olmalıdır ve parçanın kesitinin şeklini göstermelidir. Kesitin detayları daha sonra eklenir. İkinci adım 2 boyutlu taslağın yeterince ölçü ve parametre ile 2 boyutlu profilin tam şekil ve boyunu verecek şekilde sabitlenmesidir. Son olarak da 2 boyutlu taslak uzatılarak (extrude), döndürülerek (revolve) veya uzayda süpürülerek (sweep) 3 boyutlu nesne oluşturulur.

Sabitleme tabanlı katı modelleme sistemlerin diğer bir yararı da modelin parametrik olmasıdır. Bu, modelin geometrisini değiştirmek için parametrelerin ayarlanabilmesi demektir. Bir ölçü, parametrenin basit bir örneğidir. Ölçü değiştiği zaman, parçanın geometrisi güncellenir.

Parametrik modellemenin diğer bir özelliği de, parametrelerin diğer parametrelere bağlantılarla ve denklemlerle etki edebilmesidir. Yani, bir ölçü değiştiği zaman o ölçü ile bağlantılı tüm ölçüler belirtilen matematiksel tanımlara göre güncellenir.

Sabitleme tabanlı katı modellemenin son özelliği, parçaların oluşturulma sıralarının önemli olmasıdır. Örneğin bir delik, bir katı oluşturulmadan delinemez. Eğer üzerinde delik olan bir katı silinirse, delik de yok olur. Bu *aile-çocuk* ilişkisi olarak bilinir.

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Mühendislik problemleri genellikle, fiziksel durumların matematiksel modelleridir. Sonlu elemanlar yöntemi ise değişik mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal bir çözüm yöntemidir. Bu ve diğer sayısal çözüm yöntemlerinin matematiksel temeli çok önceden bilinmesine karşın bu yöntemlerin etkin ve sağlıklı kullanılmaları çok hızlı ve hafızalı bilgisayarların üretilmesi ile mümkün olmuştur.

Fiziksel problemler; diferansiyel denklem, integral denklem veya integro diferansiyel denklem şeklinde matematiksel olarak modellenir. Modellenen bu problemler; analitik çözüm yöntemleri ve sayısal çözüm yöntemleri kullanılarak çözülmeye çalışılır.

Analitik çözüm yöntemleri ele alınan yönetici denklemin bilinen çözüm teknikleri kullanılarak hiçbir yaklaşım yapılmaksızın çözülmesi şeklinde gerçekleşir. Günümüzde değişen malzeme özellikleri (örneğin kompozit malzemeler veya yaşlanan malzemeler) karmaşık geometri ve karmaşık sınır koşulları nedeniyle analitik çözüm yöntemleri ile çözülebilecek problemlerin sayısı çok kısıtlıdır. Bu nedenle sayısal çözüm yöntemlerinin kullanılması kaçınılmazdır. Verilen problemin analitik çözümü mümkünse bu çözüm yolu tercih edilmelidir. Sonlu elemanlar (FEM), sınır elemanları (BEM), sonlu farklar (FDM) vb. gibi yöntemler sayısal çözüm yöntemleridir. Esas olarak sayısal çözüm yöntemlerinde verilen probleme uygun prosedürler takip edilerek o çözüm yönteminin etkin olduğu fonksiyonlar kümesinden optimal çözümün belirlenmesi şeklinde yapılır. Sayısal çözüm yöntemlerinden en çok kullanılanı ve en yaygın olanı sonlu elemanlar yöntemidir.

Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanının almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyan pratikte özel bir öneme sahiptir.

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

4.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları

Sonlu elemanlar yönteminin başlıca avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sonlu elemanlar yöntemi geometrisi karmaşık şekillerin incelenmesine olanak sağlar. Çözüm bölgesi alt bölgelere ayrılabilir ve değişik sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerekğinde bazı alt bölgelere daha hassas çözümler yapılabilir.
2. Sonlu elemanlar yöntemi değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin; anizotropi, nonlineer, zamana bağlı hız özellikleri ele alınabilir.
3. Sınır koşulları temel denklemler takımı kurulduktan sonra basit sütun, satır işlemleri ile sisteme dahil edilir.
4. Sonlu elemanlar yöntemi matematiksel olarak genelleştirilebilir ve pek çok problemi çözebilmek için aynı model kullanılabilir.
5. Yöntemin hem fiziksel anlamı hem de matematiksel temeli mevcuttur.

4.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin Dezavantajları

Sonlu elemanlar yönteminin başlıca dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Sonlu elemanlar yöntemi kırılma, temas mekaniği gibi bazı problemlere uygulanmasında belli birtakım zorluklarla karşılaşılır.
2. Bu yöntemle elde edilen sonucun doğruluğu verilerin doğruluğuna bağlıdır.
3. Bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır.
4. Kabul edilebilir doğru sonucun elde edilmesi için bölgenin ayrıklaştırılması deneyim ister.
5. Elde edilen sonucun doğruluğu bilinen matematiksel ve fiziksel gerçeklerle test edilmelidir.

4.3 Sonlu Elemanlar Yönteminin Kısa Tarihçesi

- R. Courant : Ritz'in, sayısal analiz ve varyasyonlar yönteminde minimizasyon, metodlarını kullanarak titreşim analizinde yaklaşık çözümler elde etti ve sonlu elemanlar yönteminin ilk uygulayıcılarından oldu.
- M. J. Turner, R.W. Clough, H.C. Martin ve L.C. Topp : Courant'dan kısa bir süre sonra, kompleks yapıların katılık ve çökme (stiffness and deflection of complex structures) problemleri üzerine bir makale yayınladılar.
- R.W. Clough : Düzlem problemlerinde sonlu elemanlar kullanımı üzerinde çalıştı.
- 1970' ler Mainframe bilgisayar uygulamaları : Çok pahalı olan bu sistemler daha çok havacılık, otomotiv, savunma ve nükleer sanayiler tarafından kullanılabilirdi.
- 1980' ler : Mikrobilgisayarlar ile ilk ve son işlemciler (pre and postprocessors)
- 1990' lar : Günümüzde süper bilgisayarlar yardımı ile her tür problem için kabul edilebilir çözümler elde etmek mümkün olmaktadır [7].

4.4 Sonlu Elemanlar Yönteminde İşlem Adımları

Sonlu elemanlar yönteminde izlenen işlem adımları aşağıda kısaca anlatılmıştır :

1. İncelenmesi kararlaştırılmış olan fiziksel olay için kullanılacak olan matematiksel model hazırlanır veya hazır olarak alınır.
2. Ele alınmış olan matematiksel modele ait olan matematiksel varyasyonel, yani 'Varyasyonel Formülasyon' kurulur.
3. Elde edilen çözüm bölgesi 'sonlu eleman' adı verilen alt bölgelere ayrıştırılır. Yapılan bu işlem 'ayrıştırma', 'sonlu eleman ağı' veya 'mesh' olarak da adlandırılabilir. Çözüm bölgesinin geometrisine uygun olarak bir boyutlu problemlerde çizgi eleman, iki boyutlu problemlerde üçgen ve dikdörtgen şeklinde elemanlar, üç boyutlu problemlerde ise küp, piramit vb. şekilde elemanlar seçilir.
4. Çözüm için her bir sonlu eleman polinom olarak kabul edilir.
5. Her bir sonlu elemanda kabul edilen bu çözümler varyasyonel formülasyonda yerine yazılarak her bir sonlu eleman için K_{ij} şeklinde cebrik denklem takımı kurulur. Bu denklem takımlarının uygun şekilde birleştirilmesiyle global sisteme ait lineer denklem takımı elde edilir.

$$k \cdot \mu = f$$

Burada k katsayılar matrisi olup adı rijidlik (stiffnes) matrisi olarak bilinir. μ bilinmeyenleri içeren vektör ve f sağ taraf vektörü olarak bilinir.

6. Elde edilen denklem sistemine sınır koşulları, satır-sütun işlemleri ile dahil edilir. Elde edilen bu son sisteme 'indirgenmiş sistem' adı verilir. Bu sistemin çözülmesi ile her bir nodda aranan büyükler bulunmuş olur.

7. Elde edilen son çözüm tablo, grafik veya fotoğraf şeklinde sunulur.

4.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Bilgisayarla Analiz

Bilgisayarla yapılan analizler üç ana adımda olur.

- Ön işleme : Model geometrisi oluşturulur veya hazır alınır ve geometri üzerinde ağ oluşturulur.
- Çözüm : Yüklemeler uygulanır ve çözüm yapılır.
- Son işleme : Sonuçlara bakılır ve sonuçların doğruluğu kontrol edilir.

1. Bu adımda analizi yapılacak problemi bilgisayara aktarmak için, problemin geometrisi kullanılan sonlu elemanlar yöntemine dayalı paket program içinde veya bir CAD ortamında oluşturulur. Modelin başka CAD ortamında oluşturulması durumunda IGES, SAT, VDA gibi dönüştürücü formatlar kullanılarak sonlu elemanlar programına transfer edilebilir.

Sonlu elemanlar programında açılan bu datanın üzerinde ağ oluşturulması gereklidir. Sonlu elemanlar metodunu kullanarak yapılan bir analiz işleminde ağ oluşturma işlemi sonlu elemanlar metodunun belkemiğini oluşturur. Termal, yapısal, mekanik, akışkan ve elektromagnetik gibi mühendisliğin temel alanlarında sayısal analiz işlemleri esnasında ağ oluşturma işlemi vazgeçilmez bir adımdır. Ağ oluşturma işlemi düğüm noktalarının ve elemanların koordinatlarını oluşturur. Aynı zamanda kullanıcı tarafından girilen minimum bilgiye karşılık optimum sürede otomatik olarak düğüm noktalarını ve elemanları sıralar, numaralanmasını sağlar.

Ağ oluşturmak için doğru eleman tipini seçmek analiz işleminin çok önemli bir parçasıdır. Bu adım için kullanıcının yeterince sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Çözümü istenen cismin geometrisi, analizin tipi (mukavemet, ısı transferi, manyetik analiz tipi) ve sınırları eleman seçimini etkiler.

Ayrıca malzeme özelliklerini de doğru tanımlamak çok önemlidir. Malzeme özellikleri, malzemenin elastikiyet modülü veya özgül ağırlık gibi geometriden bağımsız fiziksel özelliklerdir. Bu noktada malzemenin fiziki özellikleri tanımlanır.

Örneğin katı yapısal problemler için, elastikiyet modülü, poisson's oranı ya da malzemenin yoğunluğu tanımlanmalıdır.

2. Bu adımda, yüklemelerin ağ yapısı oluşturulmuş olan geometri üzerine uygulanması yapılır. Yüklemeler için 5 kategori mevcuttur:

- Serbestlik derecesi (DOF) sınırlandırmaları : Gerilme analizindeki yer değiştirmeler veya termal analizdeki sıcaklıklar gibi değerler girilebilir.
- Yoğun yüklemeler : Kuvvetler veya sıcaklık akış oranları gibi noktasal yükler girilebilir.
- Yüzey yüklemeleri : Basınç veya konveksiyon gibi bir yüzey üzerinde tanımlanmış yüklemeler girilebilir.
- Gövde yüklemeleri : Hacimsel veya içsel ısı oluşturulması gibi hacimsel veya alansal yüklemeler girilebilir.
- Atalet yüklemeleri : Yerçekimi veya açısal hız gibi yüklemeler girilebilir.

Yüklemeler, katı model yada sonlu eleman modeli (nodlar ve elemanlar) üzerine uygulanabilirler. Katı model yüklemelerini uygulamak daha kolaydır çünkü daha az seçilecek yer vardır. Ayrıca yüklemeler katı model üzerine uygulanırsa ağ yapısından bağımsız olur. Böylelikle ağ yapısı değiştiği zaman yükleri tekrardan uygulamaya gerek kalmaz.

Yüklemeler yapıldıktan sonra son bir kontrol yapıp çözüm adımına geçilebilir. Bu adımda bilgisayar arka planda matematiksel işlemleri yapar.

3. Gerilme analizinde ki sonuçlara bakmak genellikle deforme olmuş şekli, gerilmeleri ve reaksiyon kuvvetlerini içerir.

Sonlu elemanlar yönteminde doğru sonuca yaklaşmak için iki yöntem kullanılır. Klasik sonlu elemanlar analizinde sonuçların doğruluğu çoğunlukla eleman sayısına bağlıdır. Eleman sayısı arttıkça sonuçlar daha gerçeğe yakın çıkar. Gerilme değişimlerinin yüksek olduğu bölgelerde eleman sayısı artırılarak elde edilen sonucun hassasiyetide arttırılır. Bu çözüm yöntemi, h metodu olarak tanımlanabilir. İkinci bir yöntem ise bu elemanların sayısını arttırmak yerine elemanların polinom derecesini arttırmaktır. Polinom derecesi arttıkça elde edilen modelin doğruluğuda artar. Sonuçlar kullanıcı tarafından tayin edilen tolerans içine girene kadar polinom derecesi artar. Bu yöntem ise p metodu olarak bilinmektedir.

4.6 Sonlu Eleman Kavramı

Sonlu elemanlar metodunun temelinde parçadan bütüne gitme prensibi bulunmaktadır. Bu prensip ilk önce kiriş-kafes yapıları üzerinde uygulanmıştır. Daha sonra iki ve üç boyutlu sürekli ortamlar, değişik boyutlarda kiriş elemanlarından meydana gelmiş olarak düşünülmüş ve bu yaklaşıma 'Parçalı Eleman Yöntemi' adı verilmiştir.

Sonlu eleman kavramı, fiziksel bakımdan kiriş-kafes yaklaşımından farklıdır. Sonlu eleman, iki veya üç boyutlu sürekli ortamın iki veya üç boyutlu bir parçası yada bir bölgesidir. Fiziksel sistemin davranışı sonlu elemanların geometrileri ve malzeme özellikleri ile belirlenir. Bu yüzden öncelikle sonlu elemanın özellikleri bilinmelidir.

4.6.1 Sonlu eleman çeşitleri

Doğru sonuç elde edilebilmesi için ortamın iyi bir biçimde sonlu elemanlara bölünmesi gerekir. Bu da problemi çözen mühendise bağlıdır. Öncelikle, sürekli ortamın boyutuna, yapının veya cismin geometrisine uygun olarak sonlu elemanın şekli seçilmelidir. Sonlu eleman bir, iki yada üç boyutlu olabilir. Sonlu elemanın sınırları genellikle doğru olarak seçilmekle birlikte bazı problemlerde eğri sınırlı sonlu elemanlar kullanılabilir.

Sonlu elemanlar geometrik olarak 4 ana gruba ayrılabilir :

- Tek boyutlu elemanlar : Tek boyutlu elemanlar geometrik olarak diğer iki boyutu tek boyutuna göre ihmal edebilen geometrik yapıların analizlerinde ve problemin özelliğinden dolayı tek boyutlu inceleme yapmayı gerektiren durumlarda kullanılır. İlk duruma örnek olarak kafes sistemleri, ikinci duruma örnek olarak da tek boyutlu ısı transferi gösterilebilir.
- İki boyutlu elemanlar (düzlem elemanlar) : İki boyutlu elemanlar çözüm bölgesinin düzlem olduğu durumlarda kullanılır. Temel olarak üçgen ve dörtgen elemanlar olmak üzere iki eleman tipi vardır.



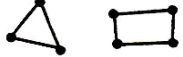


Çözüm bölgesinin gerçeğe yakın olarak tanımlanmasında üçgen elemanlar çok kullanışlıdır. Dörtgen elemanlar daha özel durumlarda çözüm bölgesinin dörtgen elemanlara ayrılacak yapıda olması durumunda kullanılır.

- Üç boyutlu elemanlar (uzay elemanlar) : Bazı problemlerde çözüm bölgesinin üç boyutlu olarak ele alınması gerekebilir. Bu durumda kullanılacak eleman tipinin de üç boyutlu olması gerekmektedir. En basit üç boyutlu eleman dörtyüzlü elemandır. Ayrıca altı yüzlü ve eksenel simetrik dönel elemanlar kullanılır.

- İzoparametrik eleman tipleri : Çözüm bölgesinin eğri kenarlı olduğu durumlarda gerçeğe yakın olması amacıyla izoparametrik elemanlar kullanılır. Elemanı geometrik olarak tanımlayan fonksiyon ile alan değişkeninin çözüm bölgesi içerisindeki değişimini tanımlayan fonksiyonun aynı dereceden olmasından dolayı bu tür elemanlara izoparametrik elemanlar denir.

Tablo 4.1’de sonlu elemanlar yönteminde kullanılan sonlu eleman geometrileri görülmektedir [8].

Tablo 4.1 Basit Eleman Geometrileri

Basit Eleman Geometrileri		
Boyut	Tip	Geometri
Nokta	Kütle	
Çizgi	Yay, kiriş, çubuk, direk, boşluk, bükülme	
Alan	2B süreklilik, eksensimetrik süreklilik, düz kabuk	
Eğrisel Alan	Genelleştirilmiş kabuk	
Hacim	3B süreklilik	

5. PROTOTİP TANIMI VE PROTOTİPLEMENİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Prototip, tasarımın kavramsallığını gerçeğe dönüştürmek için el emeği veya değişik yöntemlerle yapılan ve sonuçta elde edilmek istenen nesnenin çalışan veya çalışmayan bir kopyasıdır. Prototiplemenin gelişimi 3 aşamada olmuştur. Son yirmi yıldaki gelişmeler, 2. ve 3. aşamaların ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir. Bu üç aşama şöyledir :

- Birinci Aşama : Yüzyıllarca önce başlamıştır. Bu aşamada, prototipler çok karmaşık değildir ve prototiplemenin fabrikasyonu ortalama dört hafta almaktadır. Prototipin yapımında kullanılan teknik, sanatsal ağırlıklıdır ve emek gerektirir.
- İkinci Aşama (Sanal prototipleme) : Son 20 yılda ortaya çıkmıştır. 1980'lerin başında bilgisayar destekli tasarım yaygınlaştıkça, ikinci aşama prototipleme olan sanal prototipleme gelişme göstermiştir. Bilgisayar modellerine her türlü test, analiz ve iyileştirme çalışması, adeta fiziksel model gibi yapılabilmektedir. Örneğin, malzemenin özellikleri bilindiğinden, en hassas şekilde gerilme testleri yapılabilmektedir.

Ayrıca, prototipler eskiye nazaran en az 2 misli daha karmaşık hale gelmiştir. Buna bağlı olarak, fiziksel modellerin yapımı yaklaşık 16 haftayı bulmaktadır. Öte yandan, daha hassas CNC nitelikteki makinelerin geliştirilmesiyle bile, fiziksel prototip üretimi halen ustalık ve sanat isteyen yöntemlere dayanmaktadır.

- Üçüncü Aşama (Hızlı Prototipleme) : Fiziksel parçaların hızlı prototiplenmesi ki, masa üstü üretim, katman üretim teknolojisi olarak da bilinmektedir, prototipleme gelişiminde 3. aşamayı oluşturmaktadır. Özellikle karmaşık parçaların imalatında, çok büyük zaman kazançları sağlamaktadır. Bugünkü parçaların, genel olarak 70'lere göre en az 2-3 kat daha karmaşık olduğu düşünülürse, şu an böyle bir parçanın imalatı için yalnızca 3 hafta gerekmektedir. 1988'den bu yana yaklaşık 30 değişik teknik geliştirilmiştir.

Bu tezde üçüncü bölüm olan hızlı prototipleme üzerinde durulmuştur.

5.1 Ürün Geliştirme Sürecinde Prototiplere İhtiyaç Duyulan Aşamalar

Geliştirme sürecinin tüm aşamalarında prototiplere ihtiyaç duyulur. Çünkü farklı ürün geliştirme aşamaları için değişik prototipler gereklidir. Prototiplere, tasarım modeli, geometrik prototip, fonksiyonel prototip, teknik prototip ve üretim öncesi parça şeklinde ihtiyaç duyulur.

Tasarım modelleri ve geometrik prototipler tek parçalıdır, bunlara ön tasarımda ihtiyaç duyulur. Fonksiyonellikten çok görsel amaçlıdır.

Geometrik prototipler ile parçaların birbirine uygunluğu gözlenir. Parçalar birbirine monte edilerek fiziksel uygunluk tayin edilir. Eğer istenmeyen bir durum söz konusu olursa, bilgisayar destekli tasarım (BDT) ile gerekli düzeltmeler yapılır.

Fonksiyonel prototipler, planlama sistemleri için üretilen planlama alanında, üretim zincirinde, montaj işlem ve ekipmanlarında kullanılır. Bu tip prototipler, parçanın ısı ve kimyasal dengesinin tayini için, fonksiyonel testlere, sertlik, elastiklik ve mekanik dayanım testlerine tabi tutulabilir. Fonksiyonel prototipler adından da anlaşılacağı gibi, çalışma prensibinin kontrolü için kullanılır. Teknik prototiplerde en önemli kıstas, arzulanan parçaya uygunluktur.

Fonksiyonel ve teknik prototipler elde etmek için silikon vakum döküm veya metal püskürtme gibi ikincil işlemlere (RT/RM) gerek duyulabilir.

5.2 Hızlı prototipleme

Günümüzde gelişen teknoloji ve farklılaşan istekler sonucunda bir ürünün uzun süre kullanılması neredeyse imkansızdır. Örneğin on yıllar boyunca kullanılacak bir cep telefonu, bilgisayar veya araba düşünmek yavaş yavaş ütopya halini almaktadır. Bu yüzden çok kısa süre zarfında kaliteli ve ucuz bir şekilde üretime ihtiyaç duyulmakta, sanayinin hızla gelişmesi ve rekabetin artması sonucunda ise bu ihtiyaç olmazsa olmaz halini almaktadır.

İmalat süresinin kısılması, kalitesinin artması ve ucuzluğunun sağlanması yönündeki isteklere çözüm olabilmek için bilim adamları yeni imalat yöntemleri hakkında araştırmalar yapmaktadır. Özellikle son 20 yılda bu konu üzerine yapılan araştırmalar, bilgisayarlar sayesinde hız kazanmış ve günümüzde çeşitli yöntemlerin doğmasını sağlamıştır. Bu yöntemler şimdilik az adetli imalatlarda kullanılsalar dahi, çok yakın bir gelecekte seri üretimde de kullanılabilir hale geleceklerdir.

Hızlı prototipleme, CAD datasından direkt olarak fiziksel parçalar oluşturmamızı sağlayan teknolojilere verilen genel isimdir. Günümüzde ticari amaçlı kullanılan bütün prototip üretme makinelerindeki ortak yön, oluşturulacak parçanın katmanlar

halinde üretilmesidir. Katmanların oluşturulma şekli ve kullanılan malzemeler ise farklılıklar göstermektedir.

Bu sistemler serbest şekil katı fabrikasyonu yada katmanlı üretim isimleriyle de anılırlar. Bu yöntemler freze ve torna gibi klasik üretim yöntemleriyle kıyaslandığında bir takım avantajlar sunarlar.

Kompleks ve karışık geometriye sahip parçalar ayrıntılı makina hazırlığına veya son montaja ihtiyaç duyulmaksızın direkt olarak üretilebilir.

Parçalar; birçok farklı malzemededen, kompozitlerden veya parçanın herhangi bir yerinde kontrollü olarak biçimlendirilebilen malzemededen yapılabilirler.

Serbest şekil katı fabrikasyon sistemleri kompleks parçaların üretimini yönetilebilir ve hızlı hale getirir.

Bu özellikleri yüzünden bu sistemler geniş kullanım alanı bulmakta ve piyasa sürülecek ürünün üretilme zamanını düşürmektedir.

Günümüzde mühendisler, cerrahlar, mimarlar, sanatçılar ve diğer iş dallarındaki bireyler fikirlerini daha iyi açıklayabilmek veya anlaşılmasını sağlayabilmek için bu sistemleri rutin olarak kullanmaktadırlar.

Amerika, Almanya, İsrail ve Japonya prototip üretim yöntemleri adına en büyük gelişmelere ev sahipliği yapan ülkelerin başında gelmektedirler. Ayrıca tüm Avrupa'ya yayılmış olan ve sadece prototip imali yapan firmalar tasarım ile seri imalat arasında köprü rolünü üstlenmektedirler.

Prototip üretim yöntemleri genellikle tek bir parça yada az adetli kopya üretilmesinde, şeklin diğer üretim yöntemleriyle üretilmesinin zor olduğu durumlarda kullanılırlar. Görselleştirme, sağlama, iterasyon ve tasarımın optimize edilmesi konularında yarar sağlarlar. Şekil, oturma ve işlevsellik için kullanılırlar [9].

5.2.1 Hızlı prototipleme döngüsü

Hızlı prototipleme (RP) için değişik teknikler olmasına rağmen genellikle RP döngüsü katı modelleyiciler kullanılarak geometrik modelin oluşturulması, uygun yerleşim biçiminin kararlaştırılması, destek yapılarının oluşturulması, dilimleme, parçanın oluşum yollarının hesaplanması, parça oluşumu ve son bitiriş işlemlerinden oluşur. RP işlemindeki çoğu adım otomatik olarak yapılır.

Geometrik modelin oluşturulması : Bilgisayar destekli tasarım sistemleri ile bir model oluşturulur veya hazır data alınır. İmal edilmesi arzulanan parçanın modelinin, kapalı yüzeyleri belirli olacak şekilde ortaya konulmuş olması gereklidir. Veri,

modelin iç ve dış sınırlarını ihtiva etmelidir. Eğer modelleme tekniği katı modelleme ise bu gerekli değildir.

Bunun dışında, fiziksel nesnelere de 3 boyutlu elektronik veri'ye geçilebilir. Bunun için ters mühendislik adı altında bir yöntem başvurulur. Ters mühendislikte, koordinat ölçme cihazı (CMM) ve lazer sayısallaştırıcı gibi geniş bir ekipman yelpazesinden istifade edilerek 3 boyutlu veri elde edilebilir. Ancak ters mühendislikte dikkat edilmesi gereken konu fiziksel modelin tam olarak doğru olmama olasılığıdır.

Oluşturulacak katı yüzey modeli, daha sonra "3D Systems" kuruluşu tarafından üretilmiş olan Stereolithografi (STL) dosyası formatına çevrilir. STL dosya formatı, modelin yüzeylerini poligonlarla takriben yaratır. Eğrisel yüzeylerde birçok poligon mevcuttur. Bunun sonucunda da STL dosyalarının boyutları oldukça büyük olabilir.

Ters dönmüş yüzeyler veya iki yüzey arasındaki boşluklar RP sisteminizden çıkacak olan fiziksel modelinizin kalitesini direkt olarak etkileyecektir. Bu yüzden burada dikkat edilmesi gereken konu, geometrik modelin STL'e çevrilirken arada veri kayıplarının veya hatalarının olmamasıdır. Hazır gelen veya oluşturmuş olduğunuz bir STL dosyasının RP sistemine verilmeden önce kontrol edilmesi çok önemlidir. STL dosyalarındaki hataları otomatik olarak düzelten yazılımlar sayesinde bu işlem kolaylıkla yapılabilir (Magics Rp 8.1 veya RP sistemlerinin kendi yazılımları vb.).

Uygun yerleşim biçiminin kararlaştırılması : Parçanın yerleşiminin doğru seçilmesi çok önemli bir faktördür çünkü, parça yapım süresini, destek yapılarını, hassasiyeti, yüzey bitirme işlemlerini ve prototipin maliyetini etkiler. Bu kararı verirken yapılan işe özel bir takım parametreler ve sınırlandırmalar hesaba katılmalıdır. En uygun parça yerleşiminin seçilmesi zor ve zaman alan bir görevdir. Günümüzde çoğu sistemde parçanın yerleşimi kullanıcı tarafından tayin edilmektedir.

Ancak parça yerleşimini otomatik olarak yapan yazılımlar denemekte ve böylelikle kullanıcı hataları azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu yazılımlarda ortalama sivri uç yüksekliği küçültülerek, parçanın hassasiyeti arttırılmıştır. SL ve FDM işlemi için parçanın yerleşim şekline göre fiyat tahmini yapan modeller sunulmuştur.

Destek yapılarının oluşturulması : Yerleşim şekli seçildikten sonra parçayı oluşturmak için destek yapılarının yapılması gerekir. Destek yapılarının oluşturulması için çoğu RP sistemi bu işlemi otomatik olarak yapan yazılımı ile birlikte sunar ancak bu işlemi yapan diğer yazılımlar da mevcuttur. Destek yapıları farklı RP sistemlerinde farklı olmakla beraber, genellikle parçanın tabladan ayrılmasına ve parçanın çarpılmasının önlenmesine yardımcı olmak üzere kullanılırlar.

Dilimleme : Dilimleme işlemi destek yapıları ile birlikte yerleşimi tayin edilmiş olan geometrik model üzerinde uygulanır. RP sistemleri katman katman üretim yaptığı için bu dosyalardaki veriyi kullanarak dilimleri oluşturur ve daha sonra bu dilimleri birleştirerek fiziksel modeli oluşturmaya başlayabilir. Her sistemin kendisine özgü dilimleme formatları olabilir (SLA’da sli isimli slice dosyası gibi). Dilim kalınlığı kullanıcıya sorulmakla birlikte genellikle dilimleme işlemi otomatik olarak uygulanır.

Parçanın oluşum yollarının hesaplanması ve işleme parametreleri : Dilimlenmiş data ile birlikte, bu datayı RP sisteminin nasıl yorumlayacağı önemlidir. Örneğin bir dilimin neresinden başlanacağı, nasıl oluşturulacağı ve nerede sonlandırılacağı gibi bilgiler oluştururlur. Oluşum yolları otomatik olarak oluşturulur ve bir vektör dosyası içerisinde saklanır.

Kullanıcı işleme parametrelerini parçaya uygun hale getirmelidir. Örneğin iki katman arasında ki bekleme süresi gibi değerler parçanın yüzeylerine göre değişiklik göstermektedir. Eğer bekleme süresi doğru ayarlanmazsa katmanlar birbirlerine yapışmayabilir ve bu da parçanın düzgün olarak çıkmaması ile sonuçlanır. Ayrıca süpürme sayısı ve hızı gibi diğer değerlerde parçanın düzgün olarak çıkması için çok önemlidir.

Parça oluşumu : Tüm elektronik veriler hazırlandıktan sonra tek yapılması gereken, bu verilerin RP sistemine yüklenmesi ve sonucun beklenmesidir. RP sisteminin hızına, parçanın kompleksliğine ve yüksekliğine bağlı olarak bir süre bekledikten sonra fiziksel modeli sistemden alabiliriz.

Son bitiriş işlemleri : RP sistemlerine göre değişmektedir. Bazı RP sistemleri sayı olarak fazla bitiriş işlemlerine gerek duyarken, bazıları daha az bitiriş işlemine gereksinim duyabilir.

5.3 Hızlı prototip üretim yöntemleri

Prototip üretim yöntemlerini kullanılan teknolojiye göre 4 ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlar ışıkla katılaştırma, toz ile bağlama, harç yığıma ve tabaka yığıma yöntemleridir.

5.3.1 Işıkla katılaştırma yöntemi

Işıkla katılaştırma yönteminde malzeme olarak sıvı fotopolimerler kullanılır. Fotopolimerler, ışık enerjisine maruz kaldıklarında kimyasal reaksiyona uğrarlar ve fiziksel yapıları değişir.

Işıkla katılaştırma yöntemini kullanan cihazlarda işlem süresini kısaltmak için sıvı fotopolimer tam olarak katılaştırılmaz. Son işlem olarak katılmış parçalar, içerisinde güçlü kızılötesi ışık veren ampüller bulunan bir kabinde yeterli süre bekletilir. Işıkla katılaştırma yöntemi, ışığın nasıl yönlendirildiğine bağlı olarak kendi arasında ikiye ayrılır. Bunlar tarayarak ve maskeleyerek katılaştırmadır.

5.3.1.1 Tarayarak katılaştırma

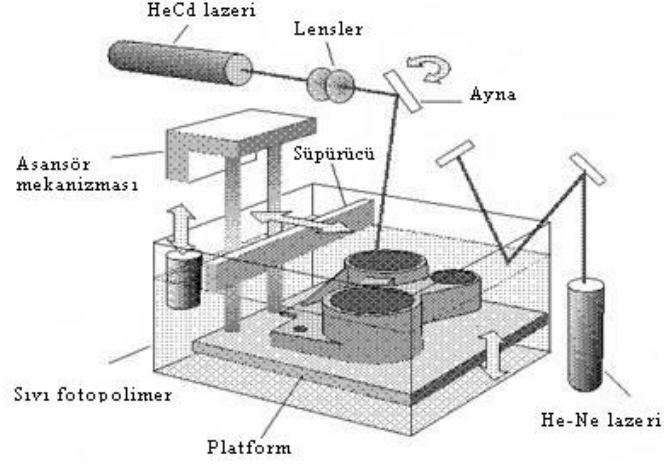
Bu teknikte, noktasal bir ışık kaynağı ile seçilen bölgeler taranarak katılaştırılır. Noktasal ışık elde etmek için genellikle aynalar ile yönlendirilen lazer kaynağı kullanılır. Fakat, fiberoptik kablolar ile lazer ışığını yönlendirilen sistemler de vardır. Fiberoptik kablo kullanan bazı cihazlarda ise ışık kaynağı olarak, bir mercekle toplanmış kızılötesi ampul ışığı kullanılır.

- Stereolitografi işlemi :

"Stereolitografi ile üç boyutlu objelerin üretimi" başlıklı, 11 Mart 1986 tarih ve 4,575,330 numaralı ABD patentini almak için 8 Ağustos 1984 yılında Charles Hull tarafından başvuru yapılmıştır. 1986 yılında Hull tarafından kurulan 3D Systems firması ise prototip üretim teknolojisi sahasında dünyadaki ilk ticari ürününü 1988 yılında çıkarmıştır. 3D Systems firması stereolitografi ismini tescil ettirmediği için rakip firmalar da kendi teknolojilerini aynı isimle adlandırmışlardır.

Stereolitografi işlemi, katı bir plastik model elde etmemizi sağlayan 3 boyutlu baskı işlemidir. SL teknolojisi ile günümüzde 50 mikrondan daha yüksek hassasiyetlere çıkılabilmektedir.

Stereolitografi işleminin başlangıcını bilgisayar programı kullanılarak hazırlanmış CAD datasının çok ince kesitler halinde dilimlenmesi ve bu datanın SLA makinesinde kullanılabilecek olan dosyalar haline getirilmesi oluşturur. Daha sonra, lazerin oluşturduğu küçük ve şiddetli UV ışını, bilgisayar tarafından kontrol edilen optik tarama sistemi tarafından içerisinde sıvı fotopolimer bulunan kaba düşürülür. Lazer ışını sıvı fotopolimer ile karşılaştığında sıvıyı katıya dönüştürür. Her bir katman tamamlandığında dikey asansör sistemi tamamlanmış katmanı sıvı reçinenin içine daldırarak, üzerinin sıvı reçine ile kaplanmasını sağlar. Seviyeleme ve tekrar kaplama sistemleri, son katlaştırılmış katmanın üzerini kaplayan sıvının kalınlığını ve düzgünlüğünü sağlamak için kullanılırlar. Bütün katmanlar lazer tarafından çizildiğinde ve kendinden önceki katmanla birleştiğinde katı oluşmuş olur. Son katmanın çizilme işlemi tamamlandıktan sonra parça SLA makinesinden çıkartılır. Parçanın üzerindeki destek yapıları temizlenir ve polimerizasyon işleminin tamamlanabilmesi için yüksek şiddetteki UV ışınına maruz bırakılır. Parça çeşitli finiş işlemleri sayesinde (kumlama, boyama vb.) son halini alır. [10]



Şekil 5.1 Stereolitografi işlemi prensip şeması

5.3.1.2 Maskeleyerek katılaştırma

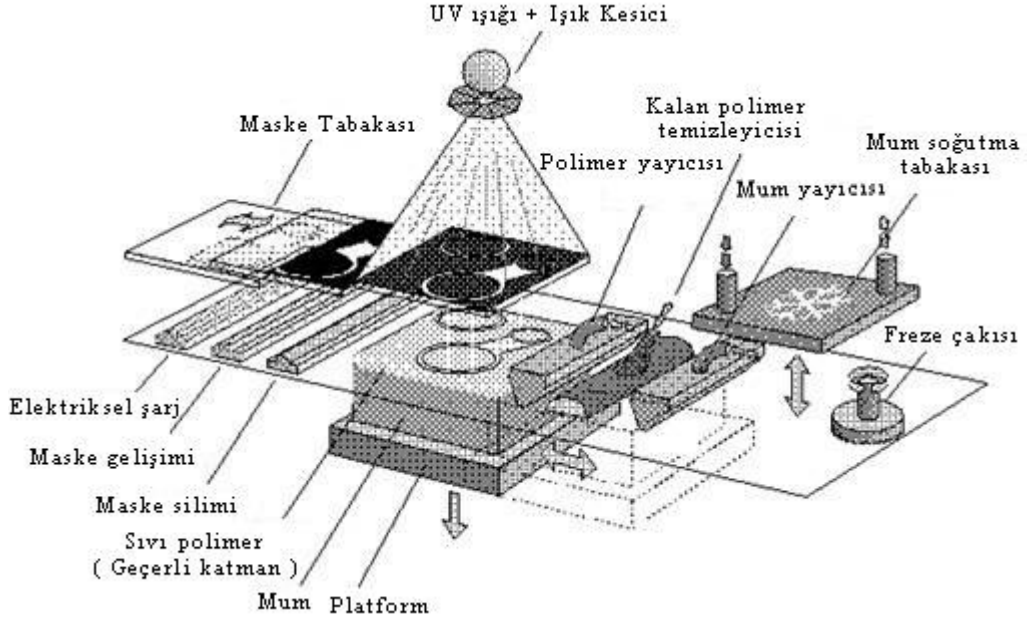
Bu teknikte, güçlü bir UV ışık kaynağı ve bir ışık maskesi aracılığı ile ham fotopolimerden oluşan inşa yüzeyinin istenilen noktaları aynı anda katılaştırılır. Maske ışığı engelleyip istenmeyen bölgelerin katılaşmasını önlemek için kullanılır.

- SGC işlemi :

SGC sisteminde elektrofotografi yöntemi ile cam üzerine toner ile maske oluşturur. Mum destek malzemesi kullanır. Scitex Corporation Ltd. firmasında başlayan Ar-Ge çalışmalarının bir sonucu olarak 1987 yılında kurulan Cubital firması, 1991 yılından itibaren 14 farklı ülkeye sistem satışı yapmıştır. Cihazın çok kompleks, bakımının zor ve pahalı olması ve 3D Systems gibi rakiplerinin daha üstün olması sebebiyle 2000 yılında kapanmıştır.

SGC teknolojisi ile yapım işleminde ilk önce yüzeye ince bir tabaka fotopolimer püskürtülür. Aynı anda, cihazın başka bir kısmında ise cam plaka üzerine maske oluşturulur. Işığı bloke etmek amacıyla siyah fotokopi toneri kullanılır. Her kesit için ayrı bir maske hazırlanır ve kullanılan toner bir sonraki maskede tekrar kullanılır. Daha sonra maske, fotopolimer tabakası üzerine getirilerek yukarıdan güçlü bir ampül ile UV ışığı verilir. Bu esnada maskelenmemiş bütün alanlar katılaşır. Işık yeterince şiddetli olduğundan SL'de olduğu gibi inşa sonrası ikinci bir katılaştırma işlemine gerek kalmaz. Sıvı halde kalan fotopolimer, elektrikli süpürge gibi bir vakum kafası ile emilir. Bu sıvı ana depoya gider ve tekrar kullanılabilir. Vakum ile temizlenen boşluklara destek malzemesi olarak erimiş mum püskürtülür. Mumun çabuk sertleşmesi içinse su ile soğutulan metal bir plaka mumun üzerine bastırılır. Bir sonraki işlem için yüzeyin düzeltilmesi amacıyla tüm yüzey bir freze çakısı ile traşlanır.

Bu teknoloji, eğer çok fazla parça aynı anda inşa edilecekse avantajlıdır, SL teknolojisine kıyasla yaklaşık 8 kat daha hızlı bir şekilde üretim yapılabilir.



Şekil 5.2 Maskeleyerek katılaştırma işlemi prensip şeması [11]

5.3.2 Toz bağlama yöntemi

Bu teknolojide, her katmanın inşası için, toz halindeki bir ham inşa malzemesi ince bir tabaka halinde yayılarak gerekli bölgelerdeki toz zerrelere ısıtılarak veya yapıştırılarak birbirlerine bağlanır. Bağlanmayan kısımlardaki kullanılmamış tozlar ise bir destek malzemesi işlevi görür ve bu sayede ayrı bir destek yapısı inşasına ihtiyaç ortadan kalkar. İnşa malzemesi olarak, plastik, metal, seramik veya bunların karışımlarından oluşan tozlar kullanılabilir.

5.3.2.1 Isıtılarak bağlama

Toz halindeki ham katmanın istenilen noktalarda lazer veya elektron ışını gibi enerji kaynakları ile ısıtılıp eritilerek ve/veya sinterlenerek birbirine kaynaştırılması ısıtılarak bağlama yönteminin özünü oluşturur. Enerji kaynağı olarak lazer kullanıldığında bu teknik genellikle SLS ismiyle anılır.

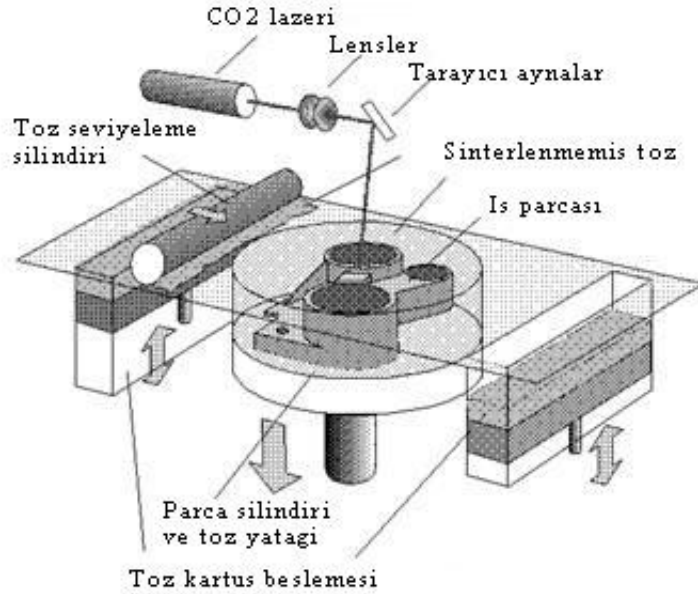
- SLS işlemi :

SLS (Selective Laser Sintering / Seçmeli Lazer Sinterlemesi) teknolojisi ilk olarak Texas Üniversitesi'nden Carl Deckard tarafından bir doktora çalışması olarak geliştirilmiş, 1 Aralık 1987'de, önceleri Nova Automation ismiyle kurulan DTM Corp. tarafından ise 1992 yılında ticari hale getirilmiştir. Eylül 2001 tarihinde DTM firmasını satın almasıyla ise, SLS sistemleri, 3D Systems firmasının ürün yelpazesine dahil olmuştur.

Bu teknikte, ısıtıldığında kaynaşabilen toz halindeki bir inşa hammaddesi ince ve düzgün bir tabaka halinde yayılır. Ardından yüzeydeki seçilen bölgeler lazer ışınıyla taranır. Işının yüzeye çarptığı noktalarda oluşan sıcaklıkla toz malzeme kısmen eriyerek ve/veya sinterlenerek temas halinde olduğu diğer toz taneleri ile kaynaşır. Bu işlemden sonra inşa zarfının tabanında bulunan platform, bir katman kalınlığı kadar aşağı çekilir. Her katmanın inşası için bu işlemler gerektiği kadar tekrarlandıktan sonra, inşa süresince doğal bir destek görevi üstlenmiş olan serbest tozlar fırça veya vakum emici ile manuel olarak temizlenerek üretilen parçalar alınır.

Işının tozları daha az enerjiyle ve daha hızlı kaynaştırabilmesi için inşa yüzeyi harici ısıtıcılarla sıcak tutulur. Ayrıca, metal tozları kullanıldığında kaynaşmayı engelleyici oksitlenme problemini ortadan kaldırmak için ortama oksijeni giderici farklı bir gaz doldurulur.

İnşa malzemesi olarak plastik, metal veya seramik tozları kullanılabileceği gibi bunların karışımlarından oluşan kompozit tozlar da kullanılabilir. Cam elyaf takviyeli plastik tozları veya üzeri plastik kaplı metal tozları buna verilebilecek örneklerdendir.



Şekil 5.3 SLS işleminin şeması

5.3.2.2 Yapıştırarak bağlama

Toz halindeki hammaddenin seçilen kısımlarına bir yapıştırıcı (harç) malzemesi püskürtülerek birbirine bağlanması işlemi yöntemin özünü oluşturur.

- 3 boyutlu baskı işlemi :

ABD'nde Massachussets Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) geliştirilen 3 boyutlu baskı işleminde inşa hammaddesi olarak plastik, metal, seramik, veya herhangi başka bir toz kullanılabilir. Çok ağızlı bir memeden yapıştırıcı püskürtülerek tozlar birbirine bağlanır. Bir merdane ile yeni bir katman toz yayılır. İnşa bittikten sonra, parçayı çevreleyen ve aynı zamanda destek malzemesi görevi görmüş olan tozlar vakum temizleyici ve/veya fırçayla temizlenir. Kullanılan malzeme ve uygulamaya göre, infiltrasyon ve sinterleme gibi değişik ek işlemler de yapılabilir.

5.3.3 Harç yığma yöntemi

Bu teknolojiye katmanlar, sıvı veya macun kıvamındaki bir maddenin belli noktalara kontrollü olarak püskürtülerek veya sıvayarak yığılmasıyla inşa edilir. Sertleşme, soğuyarak sıvı halden katı hale geçme ile olabileceği gibi, kimyasal bir reaksiyonla da olabilir. Yığma için bir veya birden fazla meme kullanılabileceği gibi, bazı memeler sadece destek malzemesi için de ayrılabilir.

Harç yığma teknolojisinin diğer üç ana teknolojiden önemli bir farkı, aynı katman içinde değişik bölgelere mekanik veya kimyasal özellikleri farklı malzemelerin yığılabilmeye kolaylığı sayesinde kompozit karmaşık parçaların veya mekanizmaların inşa edilebilme potansiyelidir.

5.3.3.1 Püskürterek harç yığma

Püskürterek harç yığma tekniğinde, akışkan halde olan inşa malzemesi bilgisayar kontrollü bir veya birden fazla meme yardımıyla damlacıklar halinde yüzeye püskürtülerek katmanlar inşa edilir. Çoğunlukla (memeden çıkış öncesi veya sonrası) sıcaklıkla eritilerek sıvı hale getirilmiş bir inşa malzemesi kullanılır ve sertleşme soğuma ile gerçekleşir.

- 3D Plotting işlemi :

Mart 1994'de Sanders Design International (SDI) tarafından kurulan Sanders Prototype, Inc. (SPI) firması aynı yıl Model Maker markası altında ilk prototip üretim cihazı modelini piyasaya sürmüştür. SPI, 2 Ekim 2000 tarihinden sonra ise ismini Solidscape olarak değiştirmiştir. Bu değişiklikle birlikte Solidscape daha ziyade kuyumculuk sektörüne yönelik cihaz geliştirmekte ve küçük boyutlu hassas döküm modelleri üretimini hedeflemektedir. SDI ise, temelde aynı prototip üretim

teknolojisiyle daha hassas ve büyük ölçekli modellerin üretiminde kullanılacak farklı prototip üretim cihazı modelleri geliştirmektedir.

9 Nisan 1996'da Royden Sanders ve çalışma arkadaşları tarafından Sanders Prototypes Inc. (Wilton, NH) adına, geliştirdikleri cihazla ilgili "3-D model maker" başlıklı ve 5,506,607 no'lu alınan patent için ilk başvuruları aslında 25 Ocak 1991'de yapılmıştır ama yapılan düzeltmeler ve yeni ek başvurular sebebiyle patentin alınması 5 sene sürmüştür.

3D plotting teknolojisi, damlacıklar halinde erimiş polimer püskürten bir prototip üretim teknolojisidir. Asıl inşa malzemesi yeşil, destek malzemesi ise kırmızı ile gösterilmiştir. Herbir malzeme için bir meme kullanılmıştır. Destek malzemesi inşa bitiminde özel bir sıvı banyosunda 10 dakikada eritilerek ayrıştırılır.

5.3.3.2 Sıvı olarak harç yığıma

Sıvı veya macun kıvamında olan yapı malzemesinin bir memeden sıkma yöntemiyle çıkartılıp gerekli noktalara sıvanması işlemi yöntemin özünü oluşturur.

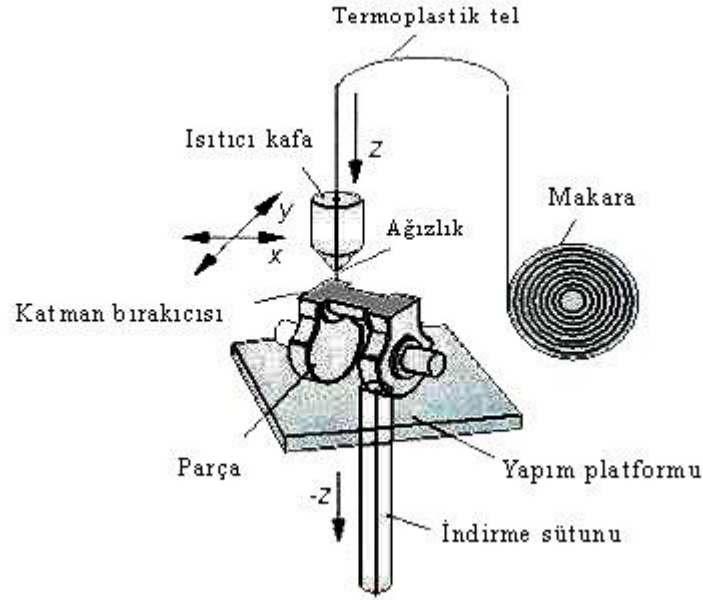
- FDM işlemi :

1988 yılında, küçük çocuğunun renkli macunlarla oynamasından aldığı ilhamla geliştirdiği FDM teknolojisini sanayide uygulamak için Scott Crump tarafından kurulan Stratasys firması, 1991 yılında ilk ticari cihazını üretmiştir. 9 Haziran 1992 tarihli, 5,121,329 no'lu ve "Apparatus and method for creating three-dimensional objects" başlıklı bu patent için Crump, 30 Ekim 1989 tarihinde başvurusunu yapmıştır.

İlk FDM modellerinde inşa ve destek amacıyla aynı malzeme kullanılıyor ve inşa sonrası bu yapı manuel olarak kırılarak alınıyordu. Sonraki modellere ise farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacıyla ikinci bir meme ilave edilerek daha kolay ayırma işlemi için iki farklı malzeme geliştirilmiştir :

BASS (Break Away Support System, Kolay kırılabilir destek sistemi): Bu destek malzemesi, inşa sonrasında manuel olarak kolayca ayrılacak bir kimyasal yapıya sahiptir (inşa malzemesine kuvvetli yapışmaz).

"Water Works" isimli bir destek malzemesi, su tabanlı bir sıvı içinde bir süre bekletilip çözülerek (manuel olarak ulaşılması zor veya imkansız) dar aralıklardan kolayca çıkarılabilir. Ayrışmanın daha kolay ve hızlı olması için çözme işlemi ultrasonik titreşimli bir tankın içinde yapılır. Bu sayede, çok parçalı ve hareketli mekanizmalar da dahil birçok karmaşık parçanın imalatı mümkün olabilmektedir.



Şekil 5.4 FDM işlemi

5.3.4 Tabaka yığma yöntemi

Bu teknolojide katmanlar, (istenen inşa hassasiyetine ve hızına bağlı olarak) yeterince ince tabakalar halinde olan katı haldeki bir malzeme ile inşa edilir. Tabaka halindeki bu malzemenin çeperlerinin gerektiği gibi kesilmesi ve bir önceki katmana yapıştırılmasındaki sıralamaya bağlı olarak ise iki farklı gruplandırma yapılabilir. Yapıştırdıktan sonra kesme tekniğinde, her tabaka, bir önceki inşa edilmiş olan katmana yapıştırdıktan sonra çeperleri kesilir. Kestikten sonra yapıştırma tekniğinde ise, tabakalar önce gerektiği gibi çeperlerinden kesilir ve sonra da, bir önceki katmana yapıştırılır. Yapıştırma için genellikle katmanlar arasında farklı bir yapıştırıcı malzeme kullanılır.

Yapıştırdıktan sonra kesme tekniğinde, kullanılmayan malzeme inşa sırasında destek rolü üstlenir fakat inşa sonrasında ayırmak güç olmasın diye inşa sırasında bu kısımların küçük parçalara bölünmesi gerekir. Kestikten sonra yapıştırma tekniği ise destekleme için, ayırması kolay, farklı malzemeler kullanmaya daha müsaittir.

Tabaka malzemesi olarak, kağıt, plastik, köpük, metal kullanılabileceği gibi, sinterleme sonrası tam yoğunluk elde edilebilecek, seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemeler de kullanılabilir.

5.3.4.1 Yapıştırdıktan sonra kesme

Yapıştırdıktan sonra kesme tekniğinde her tabaka, bir önce inşa edilmiş olan katmana yapıştırıldıktan sonra çeperleri lazer veya bıçakla kesilir. Parçanın inşasında kullanılmayan hammadde ise destek işlevi görür. Bu sayede özel bir destek yapısına ihtiyaç duyulmaz fakat inşa sırasında bu kısımların küçük parçalara bölünmesi

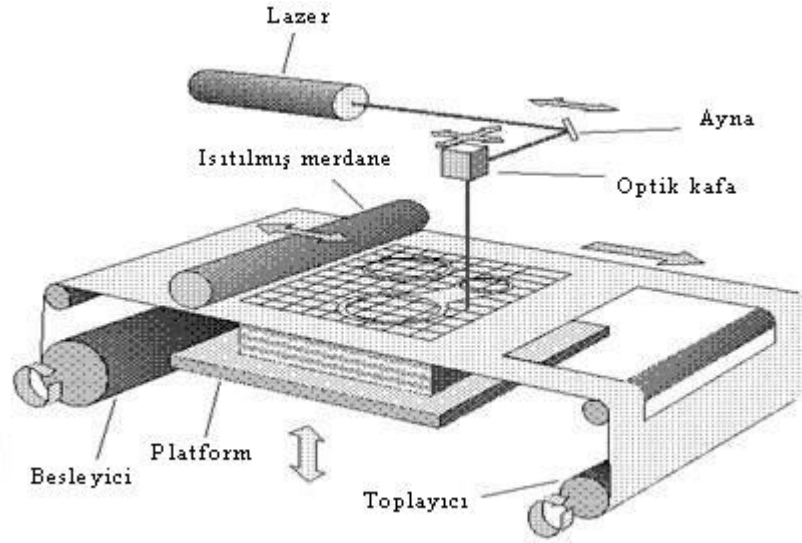
gerekir. Aksi halde inşa sonrasında parçayı blok içinden çıkarmak mümkün olmaz. Bu tekniğin uygulamalarında inşa malzemesi olarak çoğunlukla kağıt kullanılır.

- LOM işlemleri :

1985 yılında Michael Feygin tarafından kurulan 1991 yılında ilk ticari cihazını üretmiştir. Helisys firmasının 2000 yılında kapanmasının ardından, önceden satılmış sistemlerin bakım ve desteği ile malzeme tedariki Cubic Technologies Inc. tarafından sağlanmaktadır.

CNC tezgah üretimi konusunda geniş bir ürün yelpazesine sahip olan Kira Corp., 1992 yılında prototip üretim teknolojileri konusunda çalışmalara başlamış ve 1994 yılında ise ilk ticari cihazını üretmiştir.

Lazer yerine bir bıçak ile kağıdın çeperlerini kesen; A3 ebadında düz kağıt kullanan ve yapıştırma için sıcak bir rulo yerine sıcak bir pres ile yüzeye basılan sistemlerde vardır.



Şekil 5.5 LOM işlemleri

5.3.4.2 Kestikten sonra yapıştırma

Bu teknikte, önce tabakalar çeperlerinden kesilir ve sonra bir önceki katmana yapıştırılır. Kestikten sonra yapıştırma tekniği, mimari maketlerin zemininde bulunan topografik modellerin tabakalar halinde kesilip birbiri üstüne yapıştırılarak yapılmasına çok benzerlik gösterir.

Bu yöntemin diğer tabaka yığıma yönteminden avantajı, destek malzemesi olarak ayrı bir tabaka malzemesinin kullanılmasına imkan vermesidir. Bu sayede desteklerin sonradan kaldırılması kolay olabilir. Bu tekniğin dezavantajı ise, kesilen katmanların

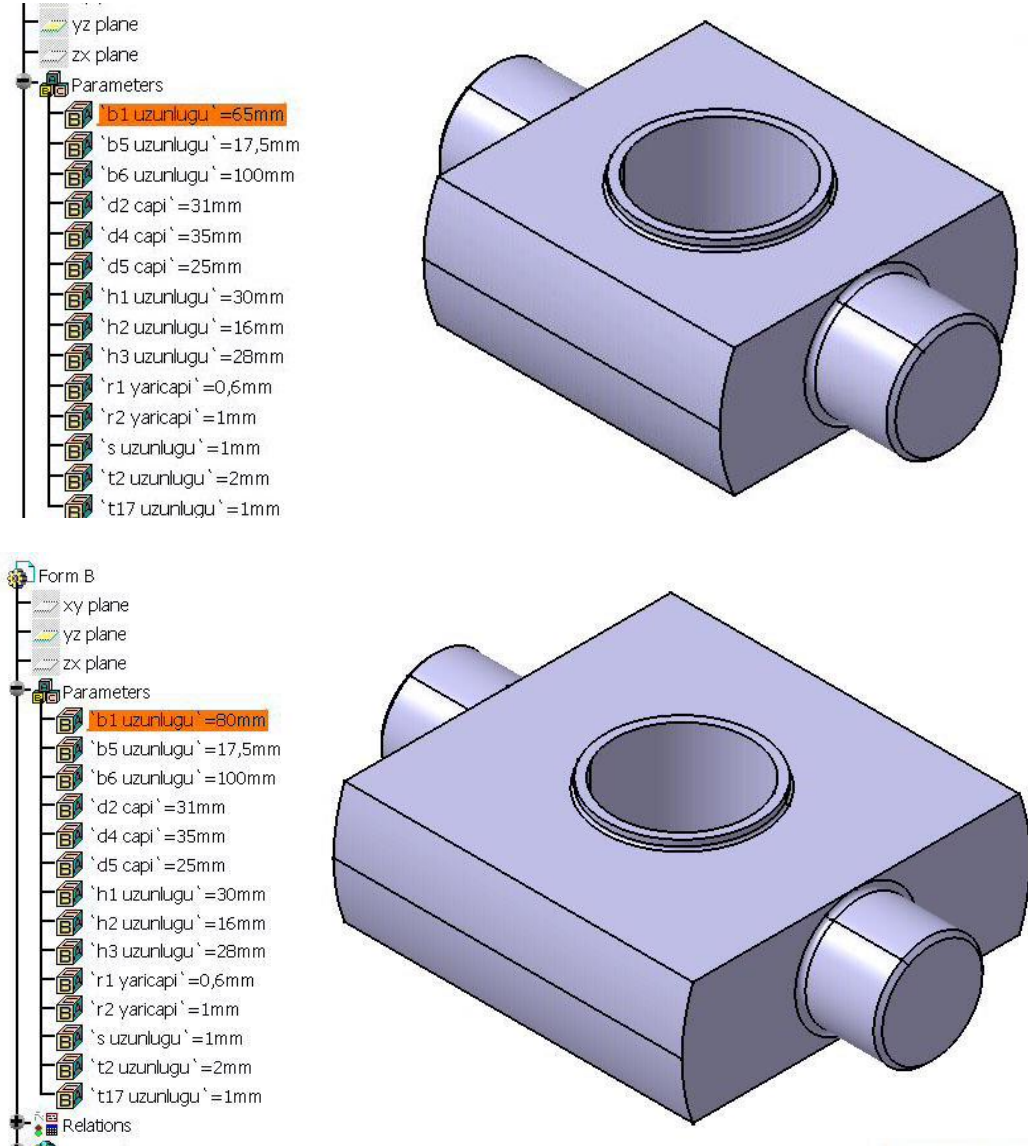
inşa halindeki yüzeye hassas bir şekilde konumlandırılarak yapıştırılabilmesindeki güçlüktür. Bu tekniği kullanan uygulamaların çoğunda, otomatik olarak kesilen tabakaların yapıştırılması manuel olarak gerçekleştirilir.

CAM-LEM Ekim 1994 tarihinde ABD Ordusu'ndan aldığı maddi destekle kurulmuş ve Ar-Ge çalışmalarını Case Western Reserve University ve diğer bazı üniversite ve araştırma kuruluşlarıyla ortak yapmıştır. CAM-LEM, "Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials" yani "tabaka halindeki mühendislik malzemelerinin bilgisayar destekli imalatı" anlamına gelmektedir. Case Western Reserve Üniv.'sinden Dr. Arthur H. Heuer, Dr. James D. Cawley ve Dr. Wyatt S. Newman CAM-LEM prosesini tasarlamış ve patent için başvurmuşlardır. Aynı kişiler CAM-LEM firmasının kurucu ve yöneticileridir. CAM-LEM, geliştirdiği prototip üretim cihazını kullanarak Şubat 2000'den itibaren seramik ve metal parça imalat hizmetleri vermeye başlamıştır.

CL-100 modeli prototip üretim cihazı 150x150x150mm inşa hacmine sahiptir. CL-100 makinası tek bir otomatik inşa çevriminde 5 farklı tip (kimyasal özellik veya kalınlık olarak) malzemeyi kullanabilir. Destek yapısı olarak ise sinterleme sırasında yanarak bünyeden atılabilen "fugitive" malzemeler kullanılır. Bu sayede inşa edilen parçalarda iç boşluklar ve kanallar oluşturulabilir. İnşa sırasında 0.1-0.6 mm veya daha kalın katmanlar kullanılır. Sinterleme sırasında, malzemeye göre %12-18 arasında değişen çekmeyi kompanse edecek şekilde parçalar biraz büyük şekilde inşa edilir.

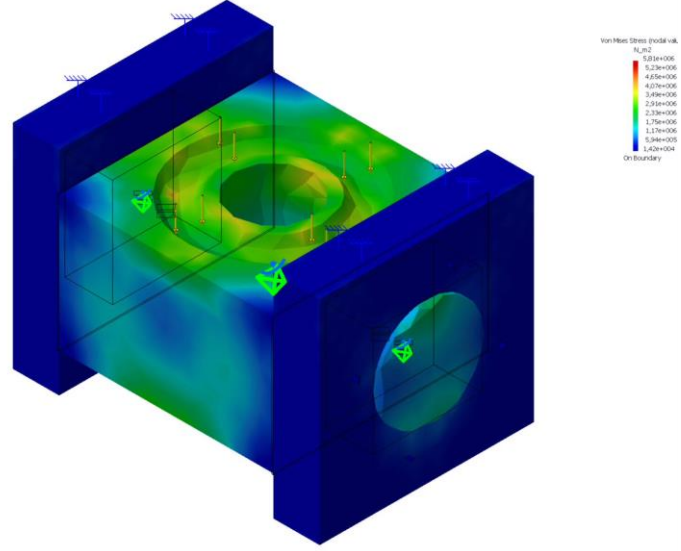
6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, DIN 15412'deki kanca traverslerinin ve DIN 15413'deki kanca somunlarının makrolar yardımıyla otomatik olarak çizdirilmesi yapılmıştır. Aşağıda şekil 6.1'de bilgisayar yardımı ile parametrik olarak çizdirilmiş kanca traversinin şekli ve parametrelerden birisi rastgele değiştirildiğinde (burada b1 uzunluğu) alacağı şekil gözükmektedir.



Şekil 6.1 Paramterelerden bir tanesinin değışiminin travers çizimine etkisi

Kanca traverslerinin bilgisayar ile analizinde traversin muyluları slider connection ile sabitlenmiş, traversin asıldığı askı saçları ise üst kısımlarından mesnetlenmiştir. Hesaplar bu şekilde yapılmıştır. Şekil 6.2’de bilgisayarda analizin nasıl yapıldığını gözükmektedir. Burada mesh olarak Catia’ya özgü octree tetrahedron mesh kullanılmıştır.



Şekil 6.2 Catia programında analiz

Bu tez kapsamında ayrıca, DIN 15412’de belirtilen kanca traverslerinin basit gerilme hesapları, A. A. Strasolesky yöntemine göre ayrıntılı hesapları ve bilgisayar ile hesapları yapılmıştır.

Kanca traverslerinin basit hesabı için excel programından yararlanılmıştır. Genellikle basit hesaplamalarda işlem dışı bırakılan yarım dairenin ağırlık merkezi hesabın içerisinde kullanılmıştır.

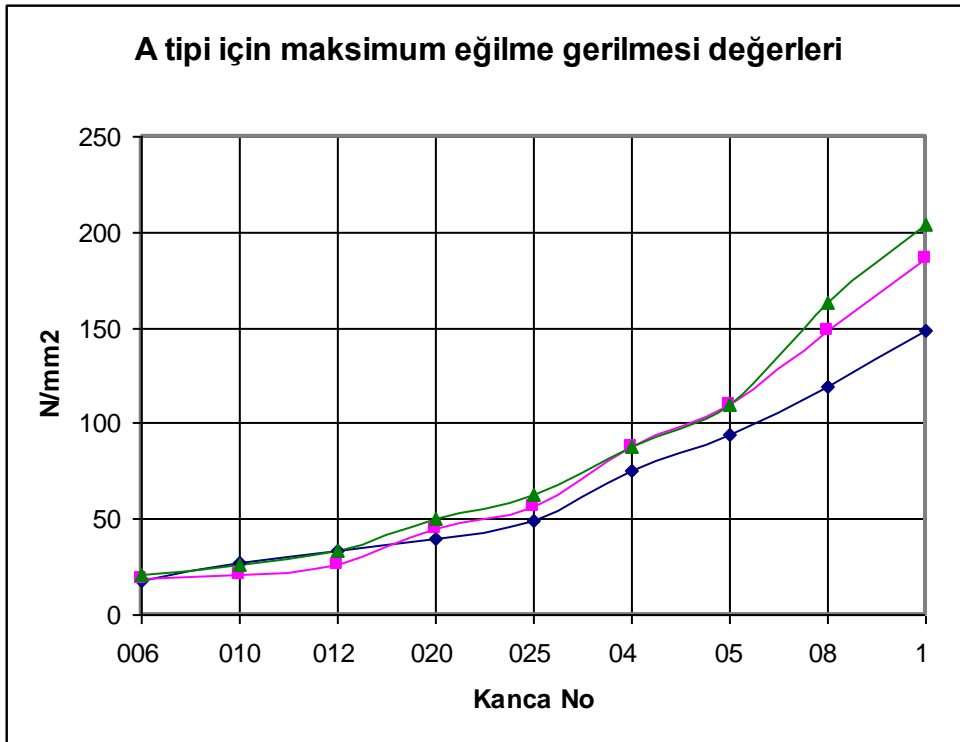
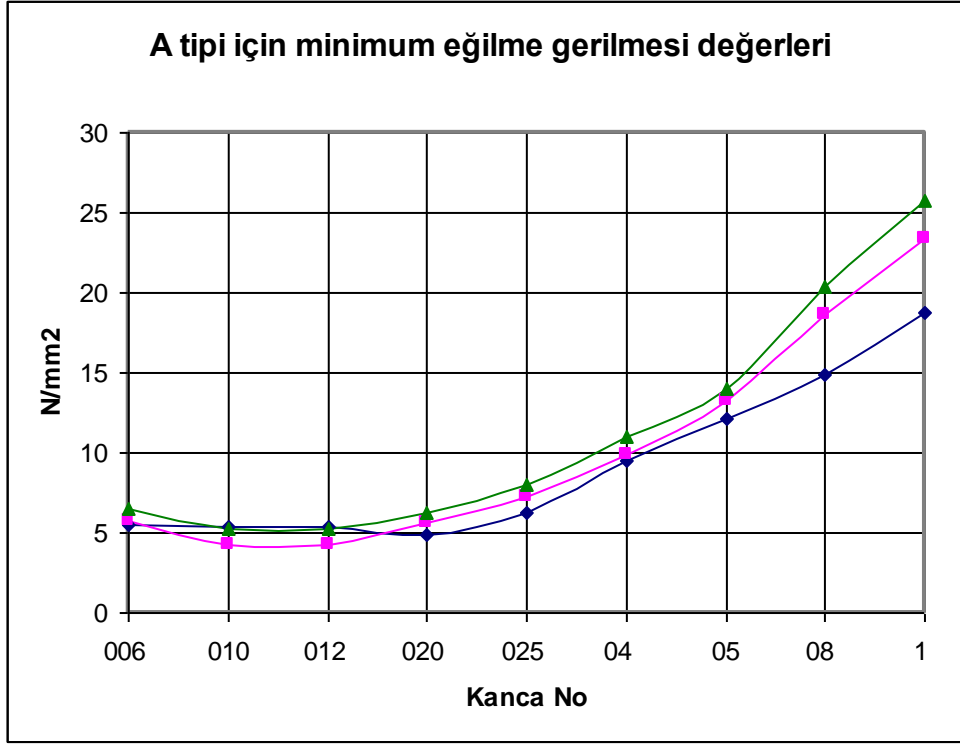
A tipi traversler için d14, B ve C tipi traversler içinse d4 ve DIN 15413’deki d8 değerlerinin ortalaması; D_m olarak kabul edilmiştir.

Basit hesaplamada yükün üniform olarak kanca traversine etki ettiği varsayılmıştır ve muylunun eğilme ve ezilme kontrolüne de yer verilmiştir.

A tipi traverslerde kullanılacak olan bilya sayısını ve bilyaların çapını hesaplamak için ayrı bir excel tablosundan yararlanılmıştır. Kanca traverslerinin Strasolesky’e göre hesabı içinse yine bir excel tablosundan yararlanılmıştır.

Şekil 6.3’de A tipindeki traversler için hesap sonuçlarının karşılaştırılması gözükmektedir. Diğer tiplerin karşılaştırılması ise Ek B’de verilmiştir.

Aşağıda mavi ile gösterilen eğri basit hesap sonuçlarını, yeşil ile gösterilen eğri Strasolesky hesap sonuçlarını, ve mor ile gösterilen eğri ise bilgisayar hesap sonuçlarını göstermektedir.



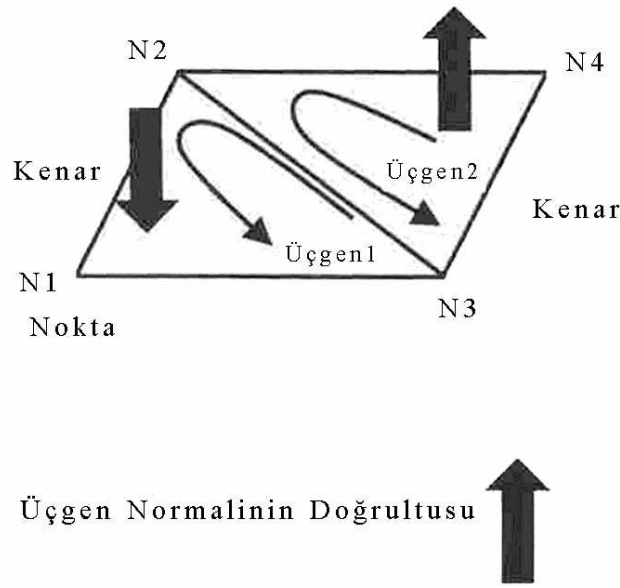
Şekil 6.3 A tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Tüm bu çalışmalara ek olarak, bu çalışmada bir kanca traversinin hızlı prototipleme sistemleri ile nasıl üretileceğini görmek için bir çalışma yapılmıştır. SLA 250 ile üretmek üzere 006 numaralı A tipindeki kanca traversi seçilmiştir. Traversin çizimi STL dosya formatına dönüştürülmüş ve 3D Lightyear programı ile açılmıştır.

6.1 STL Dosya Formatı

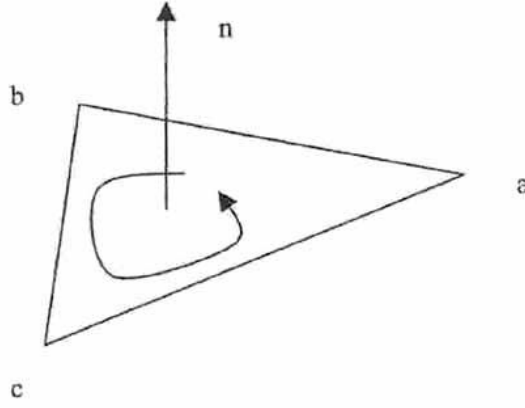
Çoğu hızlı prototipleme sistemlerine girdi olarak kullanılan ve artık endüstri standardı olan bir formattır. STL dosyası, bir nesnenin yüzeyini üçgenler yardımıyla tanımlar.

Her üçgen aşağıdaki şekil 6.4’de gözüktüğü gibi üç nokta ve hangi yüzün dışarıya (veya içeriye) baktığını belirten bir normal ile gösterilir. STL dosyasında katı modeller üçgenlerin sıralanmamış bir koleksiyonu olarak gösterilirler ve her üçgenin yüzsel doğrultusu dışarıya bakacak şekildedir.



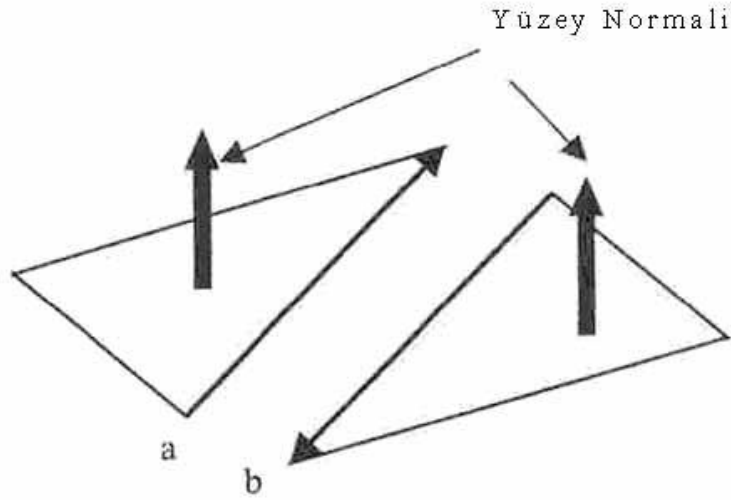
Şekil 6.4 Üçgenin tanımı

Bu üçgenlerin oluşturulması STL dosyasında depolanan bilgiye bağlıdır. STL dosyasında noktaların sağ el kuralına göre sıralandığına dikkat edilmelidir. Bu saat yönünün tersi doğrultuda, Şekil 6.5’de gözüktüğü gibi, üçgenin yüzsel normali modelden uzaklaşacak şekildedir.



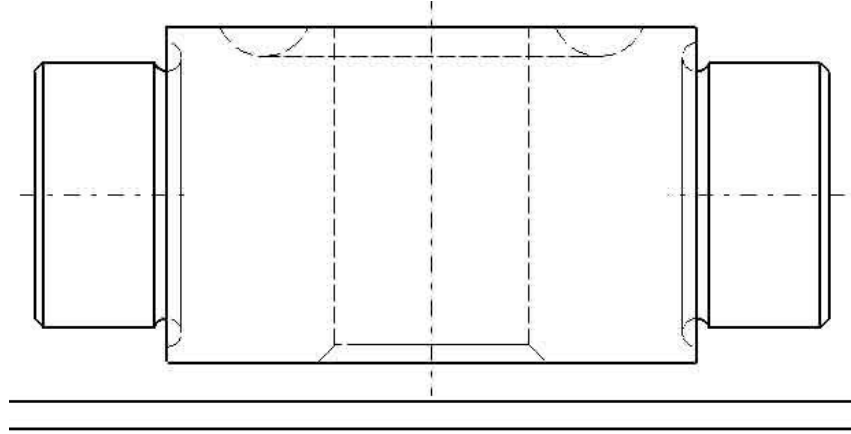
Şekil 6.5 Sağ el kuralı

STL dosyasından çıkartılacak diğer önemli bir bilgi, her üçgen kenarı için o kenarı paylaşan başka bir üçgen olmasıdır. Üçgenin noktaları sıralandıktan sonra, üçgenin kenarının doğrultusu aynı kenarı paylaşan diğer üçgenin kenarının doğrultusunun tam tersi olacak şekildedir. Bu gerekli koşul Mobius kuralı olarak bilinir ve aşağıda Şekil 6.6’da gösterilmiştir.



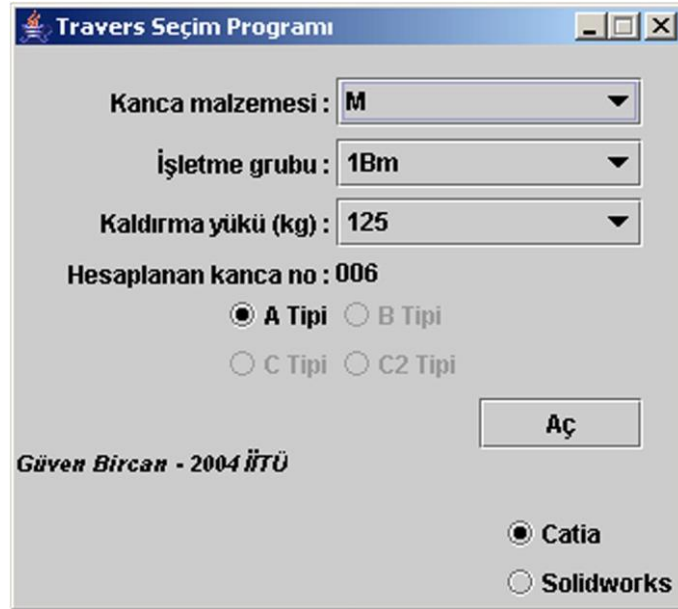
Şekil 6.6 Mobius kuralı = iki üçgen tarafından paylaşılan kenar

Burada traversin yerleşimi çok önemlidir. SLA makinalarında birinci dikkat edilmesi gereken konu, parçanın yüksekliğidir. Parçanın yüksekliği artarsa, işlem süresi ve maliyetler artar. SLA makinasına yerleşim sırasında, üst tarafa bakan yüzeyler alt tarafta kalan yüzeylere göre daha hassas ve pürüzsüz çıkarlar. Bu yüzden traversin şekil 6.7’deki gibi yerleştirilmesi uygundur.



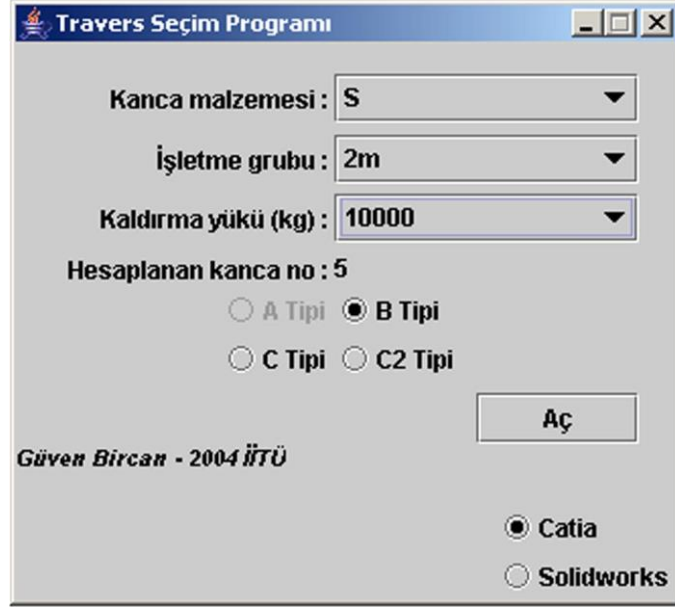
Şekil 6.7 Tabla ve traversin yerleşimi

Şekil 6.8’de ise DIN 15400’e göre kanca traverslerinin seçimi için oluşturulan programın arayüzünün resmi görülmektedir.



Şekil 6.8 Travers seçim programı

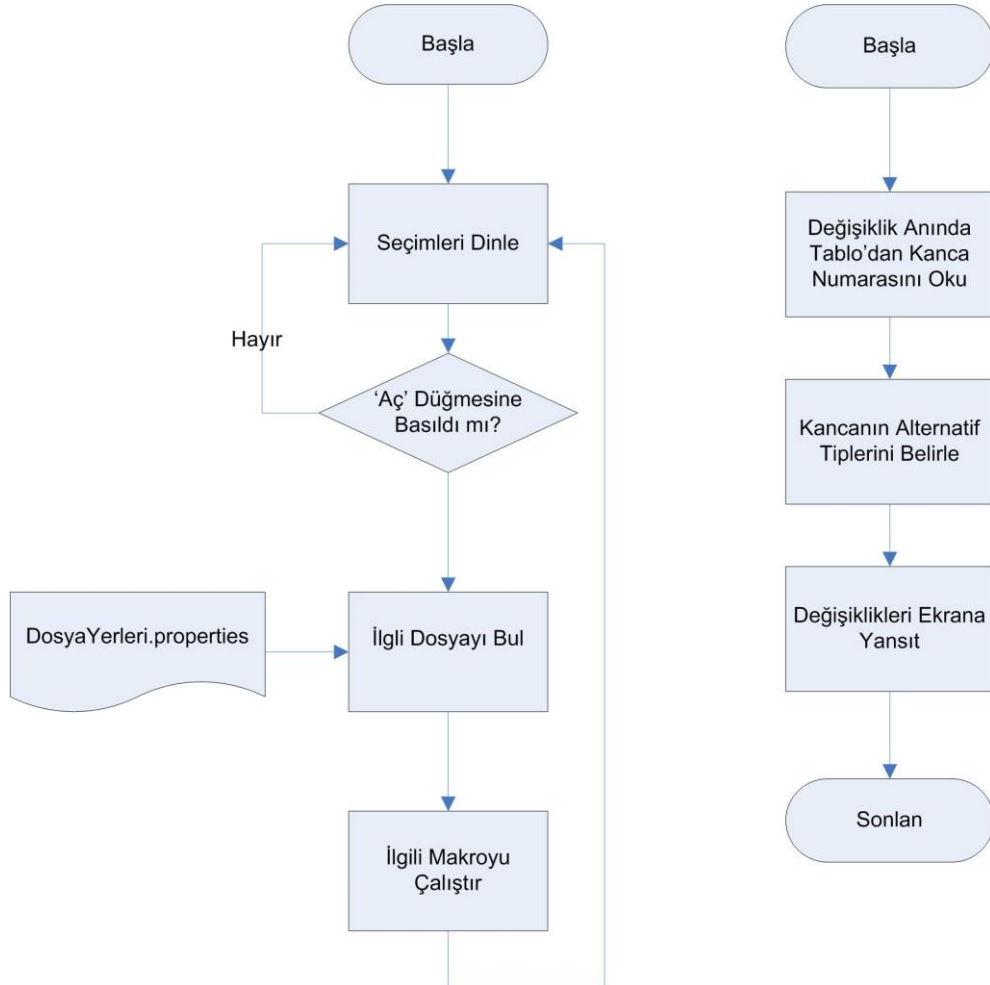
Hazırlanan program ile yapılan seçim sonrasında, seçilen kanca numarasına göre kancanın alternatif tipleri otomatik olarak bulunur ve mevcut alternatif tipler içinden seçim yapmaya olanak verilir. Örneğin kanca malzemesi S, işletme grubu 2m ve 10000 kg kaldırma yükü seçildiğinde program şekil 6.9’daki hale gelir.



Şekil 6.9 Programdaki değerlerin değişimi

Bu programın ve iç bölümlerinin akış şeması aşağıda Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Hazırlanan programın ve “seçimleri dinle” kısmının akış şeması



7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucunda, üç hesap yöntemi ile hesaplanmış olan kanca traverslerinin eğilme gerilme değerlerinin birbirlerine yakın çıktığı (şekil 6.1'de ve EK B'de) görülebilir. Böyle olmasının nedenleri, basit hesapta yarım dairenin ağırlık merkezinin hesabın içerisine katılması ve bilgisayar ile yapılan analizde ise yükün uniform olarak etki ediyormuş gibi düşünülmesidir.

Ayrıca, bilgisayar ile yapılan analizde bir takım kabul edilebilir hatalar oluşmuştur. Bunun sebepleri :

1-Bilgisayar ile tam sistemin modellenmesi yapılmamıştır. Traverse bağlanan (ör:kanca) gibi parçalar çizilmemiştir.

2-Diğer hesaplarda olduğu gibi, bilgisayar hesaplarında da kaldırılan yük uniform olarak etki ediyormuş gibi kabul edilmiştir. Gerçek hayatta ise bu yük bilyalar üzerinden eder ve yükün bir tarafa yığılması ile bazı bilyalara daha çok yük düşerken, bazılarında daha az yük düşer. Ayrıca yükün hareketi ile bilyalarda az da olsa ısınma meydana gelebilir. Tüm bu etkiler hesaplara katılmamıştır.

3-Bilgisayar ile yapılan hesapların doğruluklarının test edilmesi gerekir. Bunun içinse genellikle kullanılan yöntem, mesh boyutunun 1/2 oranına getirilmesi ve analizin tekrarlanmasıdır. Eğer iki analizin sonuçları arasındaki fark %1 değişim değerinden fazla oluyorsa, %1 değişim değeri elde edilene kadar mesh küçültülmeye devam edilir ve hesaplamalar tekrarlanır.

4-Bilgisayar ile statik hesaplama yapılmıştır. Gerçekte, yükün bir yerden bir yere transportu sırasında dinamik kuvvetler ortaya çıkmaktadır.

5-Bilgisayar ile yapılan analizde rulman traversin bir parçası gibi kabul edilmiştir ve hesaplar buna göre yapılmıştır.

Sonraki çalışmalarda, özellikle bilgisayar ile hesap kısmında, yukarıda sayılan hatalardan arındırılmış olarak hesapların yapılması, ortaya çıkan sonuçların kesinliği bakımından önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Öztepe, H.**, 1999. Transport tekniği : kaldırma ve taşıma makinaları, İ.T.Ü Makina Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Kurbanoglu, C.**, 2002. Transport tekniği : Teori konstrüksiyon çözümlü problemler, Atlas, İstanbul.
- [3] **Demirsoy, M.**, 1985. Transport tekniği : kaldırma makinaları, Birsen, İstanbul.
- [4] **Rudenko, N.**, 1969. Materials Handling Equipment, Mır publishers, Moscow.
- [5] **Dym, Clive L. and Little, P.**, 2000. Engineering design : a project-based introduction, John Wiley, New York.
- [6] **Lueptow, Richard M.**, 2000. Graphics Concepts, Prentice Hall, New Jersey.
- [7] **Tunalı, M.A.**, 2001. Scanner yardımı ile sacrum kemiğinin kompozit olarak modellenmesi ve sonlu elemalar metodu ile gerilme analizinin yapılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Mottram, J.T. and Shaw, C.T.**, 1996. Using finite elements in mechanical design, McGraw-Hill, New York.
- [9] **Chua, C.K., Leong, K.F. and Lim, C.S.**, 2003. Rapid prototyping : Principles and applications, World Scientific, Singapore.
- [10] **3D Systems**, 1995. Stereolithography Buildstation : User guide for software release 3.83 upgrade 1.
- [11] **Erten, M. Ve Yađmur, L.**, 1997. Hızlı prototip üretim teknolojileri
- [12] **DIN-15400**, 1990. Lifting hooks : Materials, mechanical properties, lifting capacity and stresses, *Deutsche Norm*, Berlin.
- [13] **DIN-15412**, 1983. Bottom blocks for lifting appliances : Cross pieces, *Deutsche Norm*, Berlin.
- [14] **Cihan, C.**, 2004. Kişisel görüşme.

EK A

Tablo A.1 Kanca Malzemelerinin Sınıflandırılması (DIN 15400)

Kanca No	DIN 17102 ve DIN 17103		DIN 17102, DIN 17103 ve DIN 17200		
	M	P	S	T	V
006	St E 285	St E 355	St E 420 34CrMo4	St E 500 34 CrMo4	34CrMo4
010					
012					
020					
025					
04					
05					
08					
1					
1.6					
2.5					
4					
5					
6					
8					
10					
12					
16					
20					
25					
32					
40					
50	St E 355	St E 420	St E 420 34CrMo4	34CrNiMo4	34CrNiMo8
63					
80					
100					
125					
160					
200					
250					

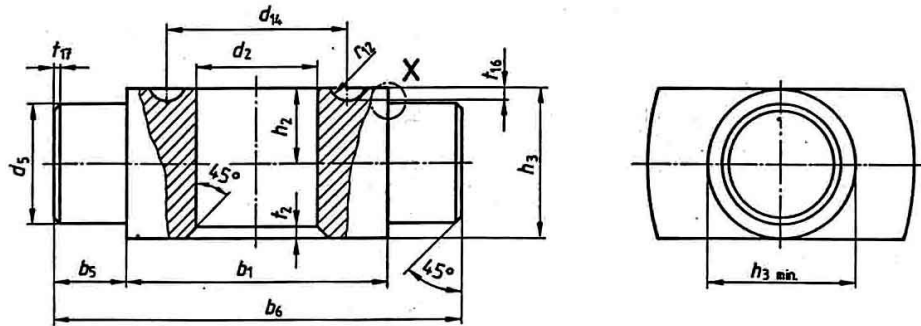
Tablo A.2 İşletme grubu ve kaldırılan yüke göre kanca seçimi (DIN 15400)

Kanca Malzemesi	İşletme Grubu ¹⁾										Kanca Malzemesi
	Leichter Betrieb als nach Triebwerkgruppe 1B _m darf nicht berücksichtigt werden			1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m	–	
M				1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m	–	M
P				1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m	–	P
S				1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	5 _m	–	S
T				1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	–	–	T
V				1B _m	1A _m	2 _m	3 _m	4 _m	–	–	V
Kanca Numarası	Kaldırma yükü kg										Kanca Numarası
006	320	250	200	160	125	100	–	–	–	–	006
010	500	400	320	250	200	160	125	100	–	–	010
012	630	500	400	320	250	200	160	125	100	–	012
020	1 000	800	630	500	400	320	250	200	160	125	020
025	1 250	1 000	800	630	500	400	320	250	200	160	025
04	2 000	1 600	1 250	1 000	800	630	500	400	320	250	04
05	2 500	2 000	1 600	1 250	1 000	800	630	500	400	320	05
08	4 000	3 200	2 500	2 000	1 600	1 250	1 000	800	630	500	08
1	5 000	4 000	3 200	2 500	2 000	1 600	1 250	1 000	800	630	1
1.6	8 000	6 300	5 000	4 000	3 200	2 500	2 000	1 600	1 250	1 000	1.6
2.5	12 500	10 000	8 000	6 300	5 000	4 000	3 200	2 500	2 000	1 600	2.5
4	20 000	16 000	12 500	10 000	8 000	6 300	5 000	4 000	3 200	2 500	4
5	25 000	20 000	16 000	12 500	10 000	8 000	6 300	5 000	4 000	3 200	5
6	32 000	25 000	20 000	16 000	12 500	10 000	8 000	6 300	5 000	4 000	6
8	40 000	32 000	25 000	20 000	16 000	12 500	10 000	8 000	6 300	5 000	8
10	50 000	40 000	32 000	25 000	20 000	16 000	12 500	10 000	8 000	6 300	10
12	63 000	50 000	40 000	32 000	25 000	20 000	16 000	12 500	10 000	8 000	12
16	80 000	63 000	50 000	40 000	32 000	25 000	20 000	16 000	12 500	10 000	16
20	100 000	80 000	63 000	50 000	40 000	32 000	25 000	20 000	16 000	12 500	20
25	125 000	100 000	80 000	63 000	50 000	40 000	32 000	25 000	20 000	16 000	25
32	160 000	125 000	100 000	80 000	63 000	50 000	40 000	32 000	25 000	20 000	32
40	200 000	160 000	125 000	100 000	80 000	63 000	50 000	40 000	32 000	25 000	40
50	250 000	200 000	160 000	125 000	100 000	80 000	63 000	50 000	40 000	32 000	50
63	320 000	250 000	200 000	160 000	125 000	100 000	80 000	63 000	50 000	40 000	63
80	400 000	320 000	250 000	200 000	160 000	125 000	100 000	80 000	63 000	50 000	80
100	500 000	400 000	320 000	250 000	200 000	160 000	125 000	100 000	80 000	63 000	100
125	–	500 000	400 000	320 000	250 000	200 000	160 000	125 000	100 000	80 000	125
160	–	–	500 000	400 000	320 000	250 000	200 000	160 000	125 000	100 000	160
200	–	–	–	500 000	400 000	320 000	250 000	200 000	160 000	125 000	200
250	–	–	–	–	500 000	400 000	320 000	250 000	200 000	160 000	250

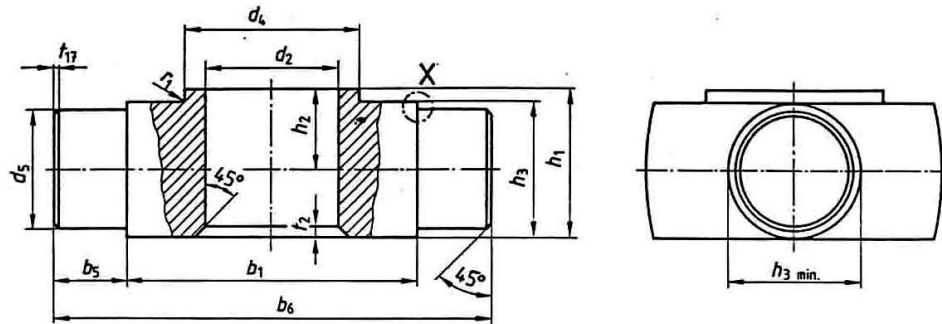
¹⁾ DIN 15020 ye göre tanımlanan

Tablo A.3 Kanca traverslerinin şekilleri (DIN 15412)

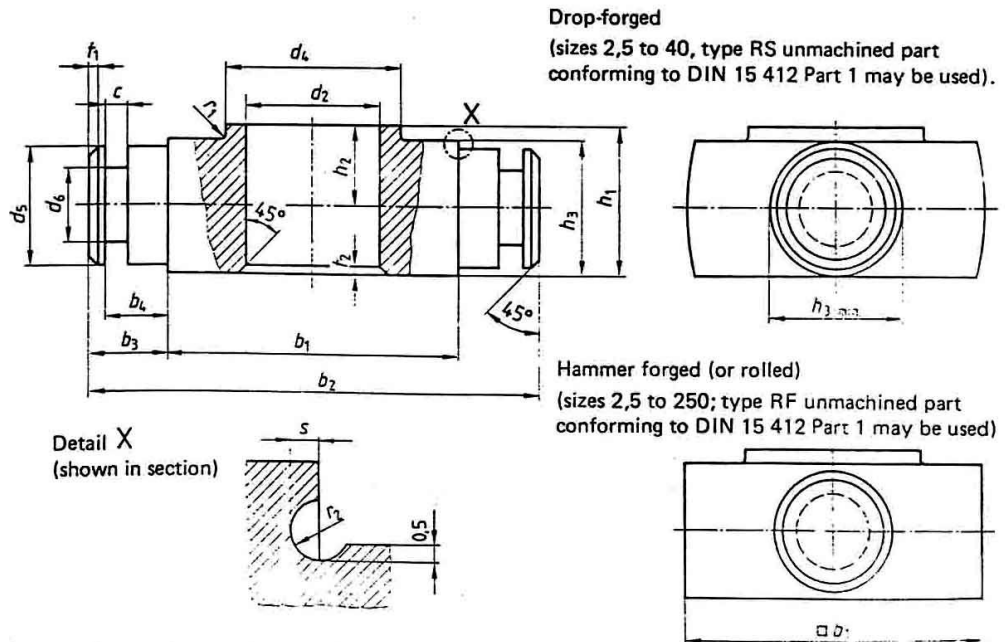
Type A Cross piece can be swivelled, with ball bearing track, for serial lifting appliances (lifting hooks), sizes 006 to 1, drop forged (type RS unmachined part conforming to DIN 15 412 Part 1 may be used)



Type B Cross piece can be swivelled, for serial lifting appliances and cranes with serial lifting appliances, sizes 1,6 to 16, drop forged (type RS unmachined part conforming to DIN 15 412 Part 1 may be used)



Type C Cross piece can be swivelled, for cranes of serial lifting appliances with lateral stop, sizes 2,5 to 250



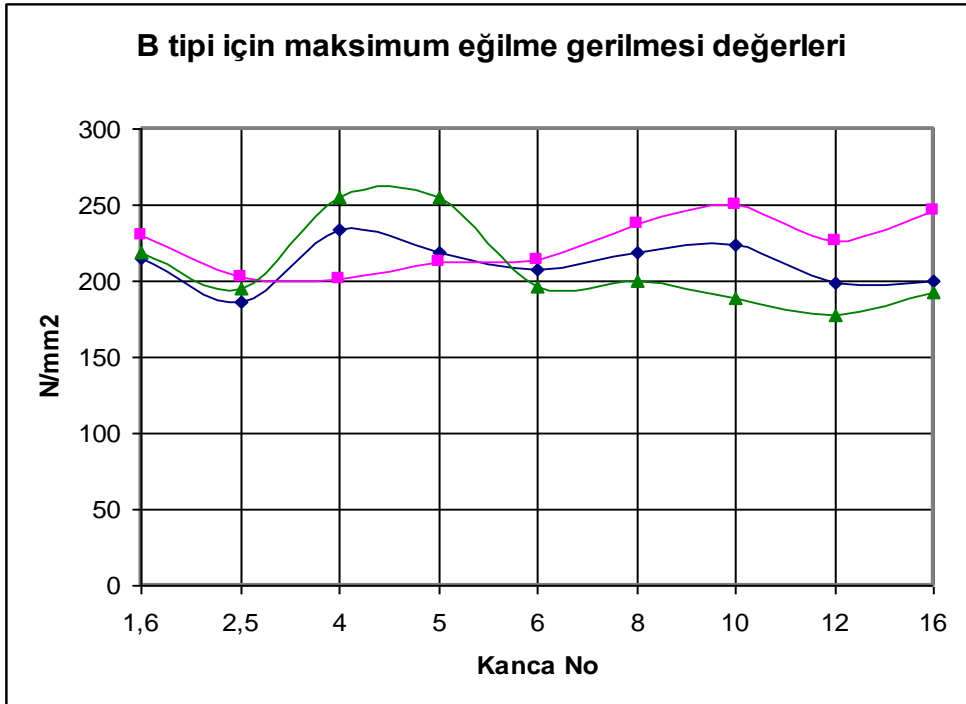
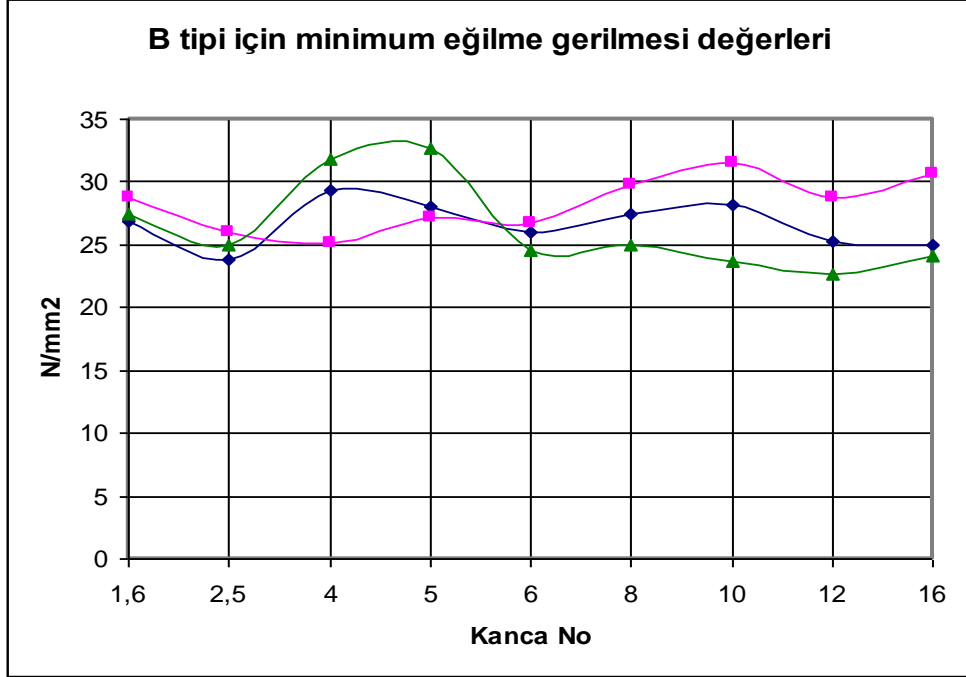
Designation of a type C cross piece, size 10, assigned to strength class P:

Cross piece DIN 15 412 – C – 10 – P

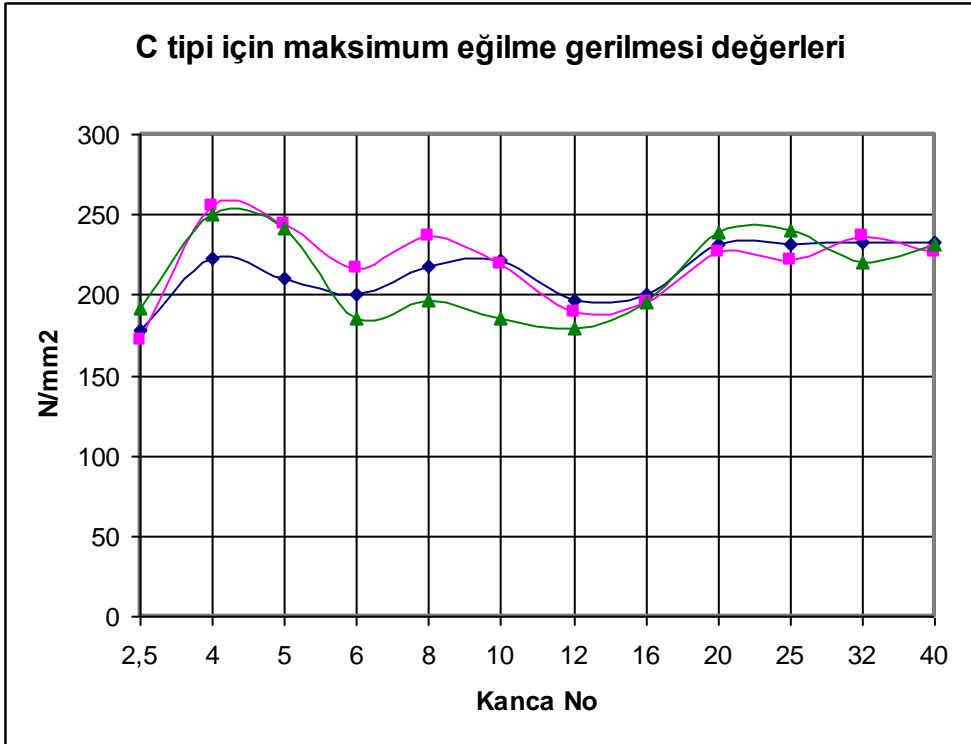
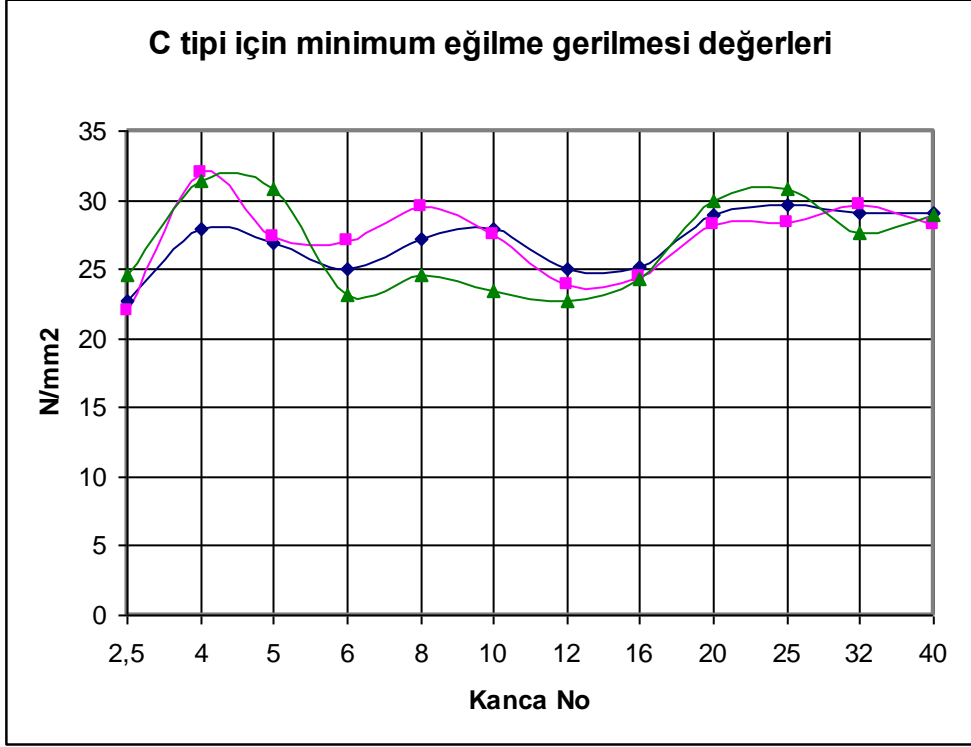
Tablo A.4 Kanca traverslerinin ölçüleri (DIN 15412)

Sıra (İhting nook No.)	Mass per unit kg																Type C hammer forged or rolled
	Type A	Type B	Type C	f_{17}	f_{16}	f_{15}	f_{14}	f_{13}	f_{12}	f_{11}	f_{10}	f_{9}	f_{8}	f_{7}	f_{6}	f_{5}	
000	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
010	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
012	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
020	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
025	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
04	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
05	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
08	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.6	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	80	125	22,5	17	20	120	8	37	40	30	19	—	—	—	—	—	—
4	90	140	25	19	22,5	135	8	43	50	35	23	—	—	—	—	—	—
5	100	155	27,5	22	25	150	8	46	60	40	27	—	—	—	—	—	—
6	125	185	30	24	27,5	180	10	51	70	45	32	—	—	—	—	—	—
8	140	210	35	29	30	200	10	58	80	50	36	—	—	—	—	—	—
10	160	230	35	29	30	220	10	66	90	55	40	—	—	—	—	—	—
12	180	265	42,5	34	35	250	10	74	100	60	42	—	—	—	—	—	—
16	240	275	42,5	33	35	300	12	92	110	70	50	—	—	—	—	—	—
20	280	285	47,5	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	310	310	49	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	378	378	59	51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	415	415	65	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	465	465	65	58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
63	522	522	71	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	565	565	72,5	63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	645	645	87,5	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
125	685	685	87,5	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	750	750	100	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	810	810	100	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	920	920	110	97	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

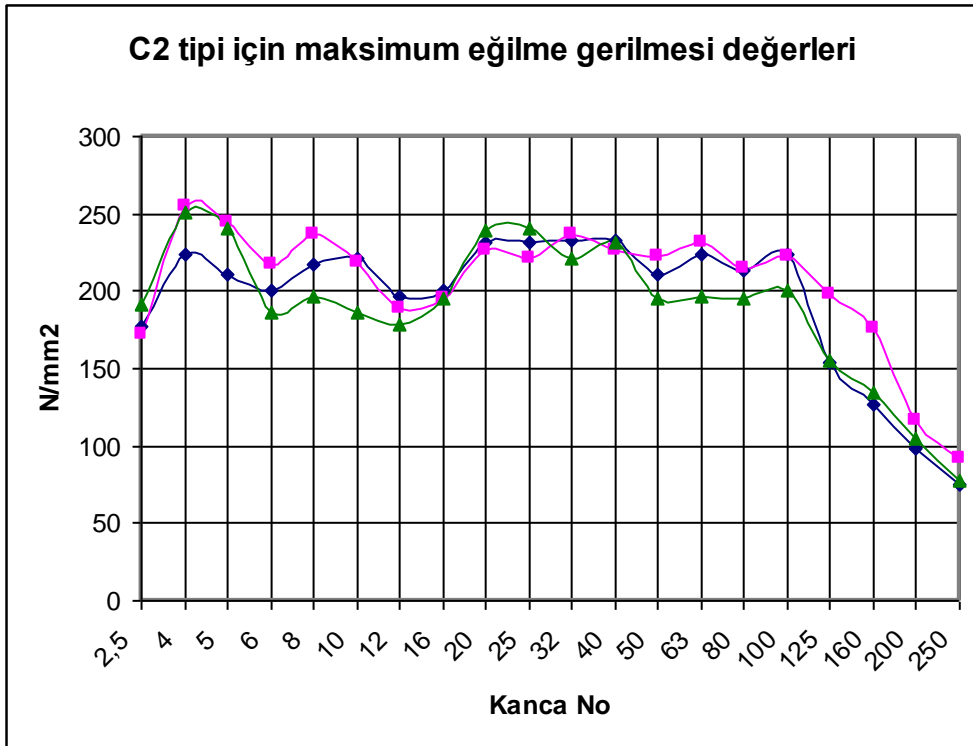
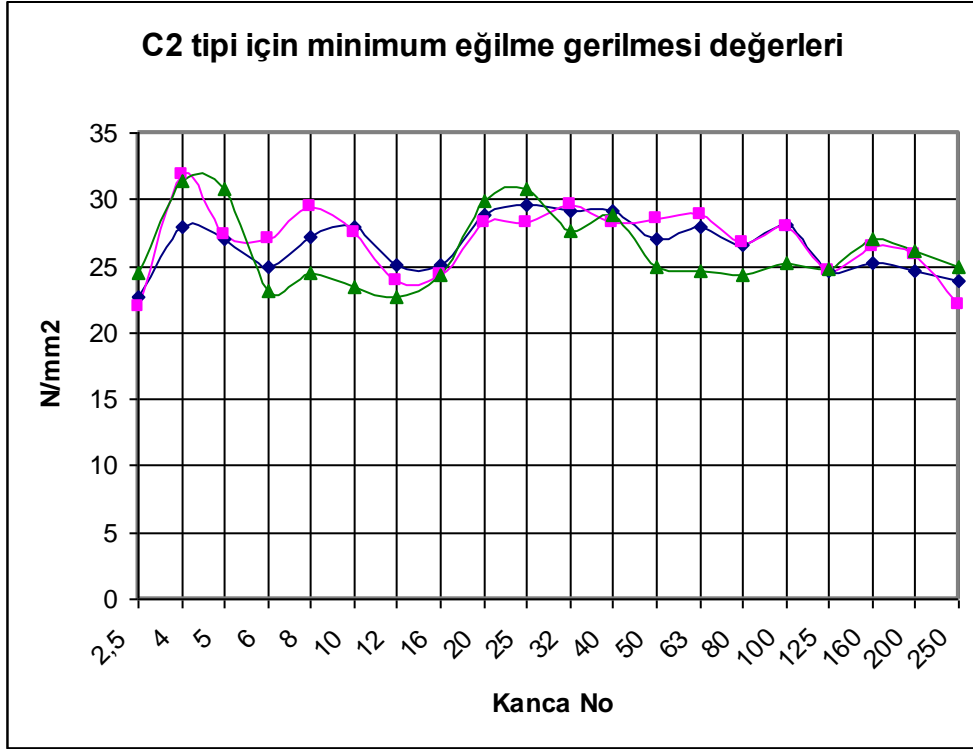
EK B



Şekil B.1 B tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil B.2 C tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması



Şekil B.3 C2 tipi için eğilme gerilme değerlerinin karşılaştırılması

Tüm tablolarda mavi ile gösterilen eğriler basit hesap sonuçlarını, yeşil ile gösterilen eğriler Strasolesky hesap sonuçlarını, ve mor ile gösterilen eğriler ise bilgisayar hesap sonuçlarını göstermektedirler.

ÖZGEÇMİŞ

2 Temmuz 1980 tarihinde İstanbul'da doğdum. 1995-1998 yılları arasında Özel Kültür Fen Lisesine devam ettim. 1998 yılında lise eğitimimi tamamladıktan sonra üniversite sınavına girdim ve Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde öğrenim görme hakkı elde ettim. 2002 yılında makina mühendisliği eğitimimi tamamladıktan sonra, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon programında yüksek lisans eğitimi alma hakkı kazandım. 2003 yılında mühendislik ve hızlı prototipleme hizmeti veren bir servis bürosunda CAD&RP sorumlusu olarak çalışmaya başladım.