

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN
ANA KİRİŞİNİN SONLU ELEMANLAR SAYISAL
YÖNTEMİYLE DİNAMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Adem VAROL**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN
ANA KİRİŞİNİN SONLU ELEMANLAR SAYISAL
YÖNTEMİYLE DİNAMİK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Adem VAROL
(503061201)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. İsmail GERDEMELİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. C. Erdem İMRAK (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI (YTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ' ye, Transport Tekniği Kürsüsünden Prof. Dr. C. Erdem İMRAK' a, GİDAŞ YAPI firmasının genel müdürü Gemi İnşa Müh. Kadir GÖKKAYA' ya, gerilme analizi konusunda yardımlarından dolayı İnş. Müh. İnan TAŞ' a, Makine Fakültesi'nin değerli mensupları hocalarıma, ayrıca eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

MAYIS 2009

Adem VAROL
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. KREN ÇEŞİTLERİ	3
2.1 Giriş	3
2.2 Köprülü Krenler	3
2.3 Portal Krenler (Ayaklı Krenler)	3
2.4 Konsol (Duvar) Krenleri.....	4
2.5 Döner Krenler	5
2.5.1 Döner Duvar Krenler	6
2.5.2 Sabit Sütunlu Duvar Krenler	7
2.5.3 Konsollu Döner Kren.....	8
2.5.4 Derrik Krenler	9
2.5.5 Ayaklı Döner Krenler	10
2.6 Döner Kule Krenleri.....	10
2.7 Araç Krenleri	11
2.8 Kablolu Krenler.....	13
3. GEZER KÖPRÜLÜ KREN ELEMANLARI	15
3.1 Giriş	15
3.2 Ana Kiriş.....	15
3.3 Baş Kiriş	16
3.3.1 Ana Kuvvetler	16
3.3.2 Ek Kuvvet	16
3.4 Kediler (Arabalar)	17
3.5 Kren Parçalarının İmalatı.....	18
3.5.1 Kesim işlemi	18
3.5.2 Dökümle elde edilen parçalar.....	19
4. ÇİFT ANA KİRİŞLİ KÖPRÜLÜ KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	21
4.1 Teknik Özellikler	21
4.2 FEM Standartlarına Göre Gruplandırma	21
4.3 Tahrik Sistemleri.....	21
4.4 Kaldırma Grubu	22
4.5 Kren Yürütme Grubu.....	22

5. ÇİFT ANA KİRİŞLİ GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN MUKAVEMET

HESAPLARI 23

5.1 Krenin Maruz Kaldığı Kuvvetler.....	23
5.1.1 Zati ağırlıklar	23
5.1.2 Çalışma yükü	23
5.1.3 Dinamik yükler	24
5.2 Ana Kirişin FEM ve DIN Normlarına Göre Mukavemet Hesabı.....	24
5.2.1 Çift Ana Kirişli KöprülÜ Krenin Teknik Özellikleri.....	24
5.2.2 FEM' e göre yükleme halleri.....	25
5.2.3 Çift kirişin ilk boyutlandırılması.....	27
5.2.4 Kiriş seçimi hesabı;	27
5.2.5 Kirişin birim ağırlığı “ q_K “.....	30
5.2.6 Sehim hesabı.....	31
5.2.7 Kren kirişindeki normal gerilmeler.....	31
5.2.7.1 Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme “ σ_1 “:.....	31
5.2.7.2 Araba' nın öz ağırlığından oluşan gerilme “ σ_2 “:.....	32
5.2.7.3 Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme “ σ_3 “:	32
5.2.7.4 Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme “ σ_4 “:	33
5.2.7.5 Araba kasılmasından ileri gelen gerilme “ σ_5 “:.....	34
5.2.8 H-Hali için kren kirişindeki maksimum ve minimum gerilmeler.....	35
5.2.9 Kirişteki kayma gerilmesi.....	35
5.2.10 Kren kirişindeki karşılaştırma gerilmesi “ σ_v “.....	36
5.2.11 Malzemenin emniyetli mukavemet değeri “ σ_{EM} “.....	36
5.2.11.1 Malzemenin statik değeri.....	36
5.2.11.2 Malzemenin dinamik değeri	37

6. SONLU ELEMENLAR METODU..... 39

6.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kısa Tarihi	39
6.2 Uygulama Alanları.....	40
6.3 Problemlerde Uygulanması	40
6.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri	41
6.5 SAP 2000 Sonlu Elemanlar Paket Programı	42
6.5.1 Yapısal Analiz.....	42
6.5.1.1 Birimler.....	42
6.5.1.2 Nesneler ve Elemanlar	43
6.5.1.3 Gruplar	43
6.5.1.4 Koordinat Sistemleri ve Gridler	44
6.5.1.5 Özellikler (Kesit Değerleri)	44
6.5.1.6 Yük Durumları	45
6.5.1.7 Fonksiyonlar	46
6.5.1.8 Analiz Durumları.....	46
6.5.1.9 Kombinezonlar	48
6.5.2 Grafik Kullanıcı Arayüzü	48
6.5.2.1 SAP 2000 Ekranı.....	49
6.5.2.2 Çizim	50
6.5.2.3 Düzenleme	50
6.5.2.4 Atama.....	51
6.5.2.5 Tanımlama	51
6.5.2.6 Analiz.....	52
6.5.2.7 Görüntüleme	53
6.5.2.8 Boyutlama (Dizayn)	56

6.5.3 Veri Tabloları	57
6.5.3.1 Giriş	57
6.5.3.2 Veri Tablolarının Sınıflandırılması.....	57
6.5.3.3 Tablolar ve Alanlar	59
7. KREN ANA KİRİŞİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZ.....	61
7.1 Giriş	61
7.2 Ana Kirişin Modellenmesi.....	61
7.3 Kren Ana Kirişin Analizi.....	62
7.3.1 Araba’ nın ortada olma durumu	63
7.3.2 Araba’ nın baş kirişe yakın olma durumu.....	65
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR.....	73

KISALTMALAR

FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
DIN	: Deutsches Institut Für Normung
CAE	: Computer Aided Engineer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Kaldırma grubuna göre yükseltme katsayısı	26
Çizelge 5.2 : A.37, A.42, A.52 çelikleri için emniyet gerilme değerleri.....	36
Çizelge 8.1 : Ana kirişte oluşan bazı gerilme değerleri.....	70
Çizelge 8.2 : Ana kirişte oluşan bazı sehim değerleri	71
Çizelge 8.3 : Ana kiriş sınır kuvvet değerleri	72
Çizelge 8.4 : Klasik hesap ve SAP2000 ile bulunan değerler.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: 2x275 Tonluk Portal Kren.....	4
Şekil 2.2	: Üst kısımda kedi hareket eden konsol kren.....	5
Şekil 2.3	: Tek raylı döner kren.....	7
Şekil 2.4	: Sabit sütunlu döner kren.....	8
Şekil 2.5	: Derrik kren	9
Şekil 2.6	: Ayaklı döner kren	10
Şekil 2.7	: Kulesi sabit döner kule kreni.....	11
Şekil 2.8	: Mobil kren	13
Şekil 2.9	: Bir kablolu krenin şematik resmi.....	14
Şekil 3.1	: Kesim örneği	19
Şekil 3.2	: Dökümle elde edilen tekerlek.....	19
Şekil 5.1	: Kladırma yükü katsayısı.....	25
Şekil 5.2	: Enine kesit boyutları	26
Şekil 6.1	: Bir boyutlu bir sonlu eleman	39
Şekil 6.2	: Üçgen tipi sonlu eleman örneği.....	39
Şekil 6.3	: İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar.....	40
Şekil 6.4	: Statik yük durumlarını belirleme penceresi	44
Şekil 6.5	: Yük kombinasyon tanımlama penceresi	46
Şekil 6.6	: Grafik kullanıcı arayüzünün ana penceresi	47
Şekil 6.7	: Malzeme belirleme penceresi	50
Şekil 6.8	: Analiz sonuçlarını seçme penceresi.....	53
Şekil 6.9	: Veri tablolarını görüntüleme penceresi.....	56
Şekil 6.10	: Veri tablosu örneği.....	58
Şekil 7.1	: Ana girişin 3D görüntüsü	59
Şekil 7.2	: Ana girişi oluşturan noktalar	60
Şekil 7.3	: Ana giriş için gerekli sınır koşulları	61
Şekil 7.4	: 1. Durumda S_{max} -Min gerilme diagramı	61
Şekil 7.5	: 1. Durumda S_{max} -Max gerilme diagramı.....	62
Şekil 7.6	: 1. Durumda ana girişte oluşan sehim.....	62
Şekil 7.7	: Ana girişte oluşan sehimin tel kafes olarak yandan görünümü.....	63
Şekil 7.8	: Ana girişin sabit olarak tutulduğu bölgede oluşan gerilmeler.....	63
Şekil 7.9	: 2.Durumda S_{max} -Max gerilme diagramı.....	64
Şekil 7.10	: 2. Durumda S_{max} -Max diagramı	64
Şekil 7.11	: 2. Durumda anakirişte oluşan sehim.....	65
Şekil 7.12	: 2.Durumda ana girişte oluşan sehimin 3D görünümü	65
Şekil 7.13	: 2. Durumda ana girişin sabit tutulduğu bölgede oluşan kuvvetler	66

SEMBOL LİSTESİ

G_y	Kaldırma yükü [kg]
g	Yerçekimi ivmesi [m^2/s]
F_y	Kaldırma kuvveti [N]
v_h	Kaldırma hızı [m/dak]
L_h	Köprü açıklığı [mm]
v_a	Araba' nın yürüme hızı [m/dak]
F_{ara}	Araba' nın öz ağırlığı [kg]
F_{AA}	Araba' nın öz ağırlık kuvveti [N]
L_a	Araba' nın tekerlek aks açıklığı [mm]
v_h	Kren' nin yürüme hızı
f_{em}	Emniyetli sehim değeri [mm]
φ	Kaldırma grubuna göre yükseltme katsayısı
ψ	Kaldırma yükü katsayısı
I_{xger}	Kesit için gerekli olan atalet momenti [mm^4]
I_x	Kirişin x-eksenine göre atalet momenti [mm^4]
I_y	Kirişin y-eksenine göre atalet momenti [mm^4]
W_x	Kirişin x-eksenine göre mukavemet momenti [mm^4]
W_y	Kirişin y-eksenine göre mukavemet momenti [mm^4]
ρ_{st}	Demir' in özgül ağırlığı [kg/m^3]
G_{per}	Perdelerin birim ağırlığı [kg/m]
q_K	Kirişin perde ile birlikte birim ağırlığı [kg/m]
f_g	Zati ağırlığın oluşturduğu sehim [mm]
f_y	Yükün oluşturduğu sehim [mm]
σ_1	Kirişin öz ağırlığından oluşan gerilme [N/mm^2]
σ_2	Araba' nın öz ağırlığından oluşan gerilme [N/mm^2]
σ_3	Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme [N/mm^2]
σ_4	Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme [N/mm^2]
σ_5	Araba' nın kasılmasından ileri gelen gerilme [N/mm^2]
τ_{max}	Kirişteki toplam kayma gerilmesi [N/mm^2]
σ_v	Karşılaştırma gerilmesi [N/mm^2]
$\sigma_{D\zeta(\kappa)EM}$	Sürekli dinamik emniyetli çekme gerilmesi [N/mm^2]
κ	Sınır gerilme oranı
k_λ	Yatay yük katsayısı

GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN ANA KİRİŞİNİN SONLU ELEMANLAR SAYISAL YÖNTEMİYLE DİNAMİK ANALİZİ

ÖZET

Günümüz sanayisinde hemen her alanda krenlerden faydalanılmaktadır. özellikle demir-çelik, dökümhane ve gemi tersaneleri gibi ağır sanayilerde imal edilen parçalar, insan gücünün kaldırabileceğinin yüzlerce misli ağırlığında olduğundan parçaların montaj hattına nakledilmesinde büyük tonajlı krenlerden faydalanılmaktadır. Köprülü krenler genellikle atölye içerisinde kullanılmaktadırlar. Krenlerin blokları kaldırırken hasar görmemeleri için mukavemet hesapları yapılmakta, daha sonra bu hesaplar sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle kren ana kirişi ayrıntılı olarak anlatılmış ve köprülü krenin teknik özelliklerine değinilmiştir. Ardından sonlu elemanlar yöntemi ve SAP2000 programı hakkında kısaca bilgi verilmiştir. FEM ve DIN normlarına uygun olarak kren parçalarının mukavemet hesapları ele alınmıştır. Daha sonra SAP2000 programı kullanılarak, kren parçalarının sonlu elemanlar yöntemi ne göre analizi yapılmıştır. Son olarak analitik yöntemle elde edilen sonuçlarla SAP2000’ de elde edilen gerilme ve sehim değerleri karşılaştırılmıştır.

DYNAMIC ANALYSIS WITH FINITE ELEMENT METHOD OF THE BASIC BEAM OF THE BRIDGE CRANE

SUMMARY

Nowadays, nearly in all industrial fields cranes are used. Especially, in heavy industries, such as, in iron-steel production, in mold industry, in shipyards etc. the transportation of the heavy constructions, where these exceed hundreds of human power to lift, are done by gantry cranes to the assembly line. In order to prevent damage of the cranes during lifting loads, strenght calculations of the cranes are being investigated and are comparing with the results that are being obtained from finite element analysis. In this study firstly, the basic beam of the bridge crane has been described and the technical specification of the bridge crane has been given. Afterwards, it has been given information in short about finite elements methods and SAP2000 software. Additionally, the strenght of the parts of the crane has been calculated according to FEM and DIN standards. After, finite element analysis of the parts of the crane has been investigated by using Abaqus/CAE software. Finally, this study has been comparing results of the analitical calculation with the results that were obtained by finite element methods.

1. GİRİŞ

İnsan gücünün yetmediği durumda bir nesnenin kaldırılarak bir yerden başka bir yere güvenli ve hızlı bir şekilde nakleden makineye kren denilmektedir. Günümüzde krenler kullanım yerlerine ve kullanım şekillerine göre kendi aralarında; portal krenler, köprü krenleri, jib krenler ve kule krenleri gibi gruplara ayrılmaktadırlar.

Gemi inşa tersanelerinde en fazla kullanılan kren tiplerinden biri de portal krenlerdir. Özellikle, rüzgarın çok fazla estiği sahil tersanelerinde kafes ana kirişli portal krenler tercih edilmektedir. Ayrıca, kaldırma kapasitelerine göre kutu ana kirişli portal krenlere nazaran daha hafif yapıya sahiptirler. Kafes ana kirişli portal krenlerin kutu ana kirişli portal krenlere göre dezavantajları ise, sapan mesafelerinin sınırlı olması ve imalatlarının zor ve uzun sürmesidir. Dahası, hesaplarının daha karmaşık olması da bu krenlerin en büyük dezavantajlarından birisidir.

Kafes ana kirişli portal krenler birçok elemandan oluştukları için, her elemanın mukavemeti kren sisteminde büyük önem taşımaktadır. Krenin yükü kaldırarak ray boyunca taşınması sırasında taşıyıcı gruplara fazla yükler etkimektedir. Özellikle ana kiriş üzerinde bulunan arabaların fren etkileri, krenin frenlenmesi, bacakların izafi olarak hareket etmesi gibi etkenler, krenin bacaklarında ve taşıyıcı gruplarında büyük gerilmelerin oluşmasına neden olurlar.

Bu çalışmada, kafes ana kirişli portal krenin taşıyıcı elemanları hakkında detaylı bilgi verilerek, sistemin modellenmesi ve analizi konusunda araştırılması hedeflenmektedir. Kafes ana kiriş sistemi incelenirken, sistemi oluşturan her bir parça hakkında da bilgi verilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde portal krenlerin elemanları açıklanarak imalat yöntemlerine değinilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, kafes ana kirişli portal krenin teknik özellikleri verilmiştir. Hesaplamalar ve sonlu elemanlar analizinde, bu bölümde verilen veriler kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde, sonlu elemanlar yöntemi ve Abaqus/CAE paket programı hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Bu bölümde ayrıca, Abaqus/CAE paket programının basit bir analiz için gerekli olan temel özellikleri anlatılmıştır.

Çalışmanın esas bölümünü oluşturan konusunu sırasıyla beşinci, altıncı, yedinci ve sekizinci bölümler oluşturmaktadır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, krene etkiyen kuvvetler tek tek açıklanmıştır. Ayrıca bu bölümde kren elemanlarının mukavemet hesapları yapılmıştır. Açıklanan bu mukavemet hesapları doğrultusunda kren parçalarının kesit kontrolleri yapılmıştır.

Altıncı bölümde, iki boyutlu kren elemanlarının teknik resimleri kullanılarak Autocad ve Solidworks programlarından faydalanarak, parçaların üç boyutlu modelleri hazırlanmıştır. Modelleri hazırlanan parçalar daha sonra birleştirilerek kafes ana kirişli portal kren montajı oluşturulmuştur.

Çalışmanın yedinci bölümünde ise, kren elemanlarının sonlu elemanlar yöntemiyle analizi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine geçilmeden önce üç boyutlu modeli hazırlanan ana giriş parçaları sadeleştirilerek Hypermesh programıyla meshlenmiştir. Daha sonra Abaqus/CAE programı kullanılarak meshlenen model üzerine yük kombinasyonları uygulanarak sonlu eleman analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmanın son bölümünde, analitik metotla elde edilen sonuçlar ile Abaqus/CAE paket programı kullanılarak, sonlu elemanlar methoduyla tespit edilen gerilme ve sehım değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucuna göre, sonlu elemanlar metodunun bu problemde doğruluğu araştırılmış ve gerekli öneriler verilmiştir.

2. KREN ÇEŞİTLERİ

2.1 Giriş

DIN 15001' e göre krenler bir taşıma elemanına asılı olan (genellikle halata) yükü kaldıran ve çeşitli yönlerde hareket ettiren kaldırma ve taşıma makinalarıdır. Kren çeşitleri arasında köprülü krenler, portal krenler, konsol krenler, döner krenler, arç krenleri vs. sayılabilir.

2.2 Köprülü Krenler

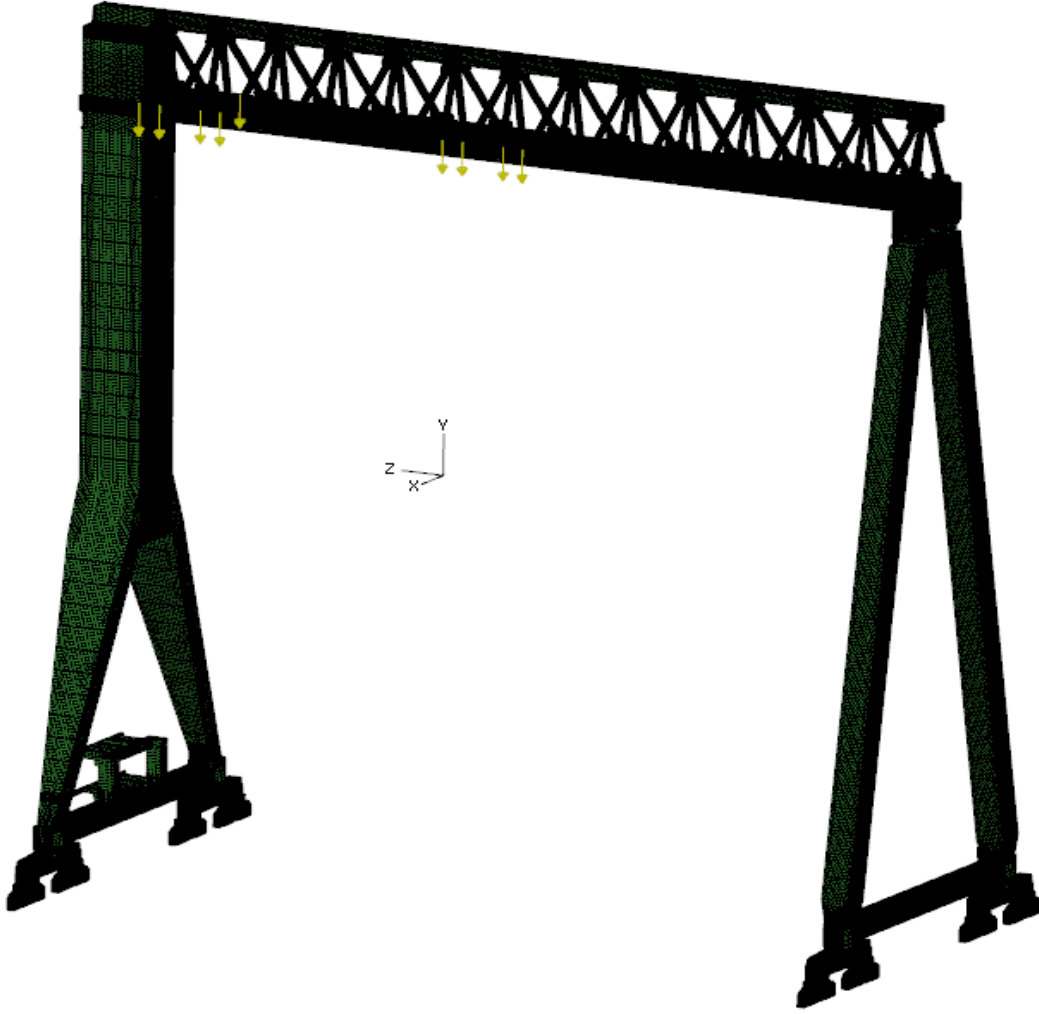
Köprülü krenler, yükseğe yerleştirilmiş kren yolunu meydana getiren iki kiriş arasında gezen bir köprü konstrüksiyonudur. İleri bölümlerde ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

2.3 Portal Krenler (Ayaklı Krenler)

Limanlarda, demiryolları mal aktarımında, stok alanlarında v.s. yerlerde sabit ve hareketli tam ve yarı ayaklı olarak kullanılmaktadırlar. Gezer köprülü krenler ağırlıklı olarak fabrika içi krenleri olarak kullanılırken, ayaklı krenler fabrika dışında kullanılırlar. Bu krenlerde krenin üzerinde hareket ettiği raylar zemine yerleştirilirler. Rayın birinin bina üzerinde bulunması durumunda bir ara çözüme gidilerek yarı ayaklı kren kullanılır. Ayaklı bir krenin fabrika içinde kullanılması pek rastlanan bir durum değildir.

Ayaklı krenler çok kere ayakları üzerinden sağa ve sola konsol şeklinde uzatılmaktadır. Tam ayaklı krenler her iki tarafta ayaklarla (Şekil 2.1), yarı ayaklılar ise yalnız bir taraftan ayaklarla donatılmıştır. Krenin diğer tarafı bina üzerine yerleştirilmiş ray üzerine oturur.

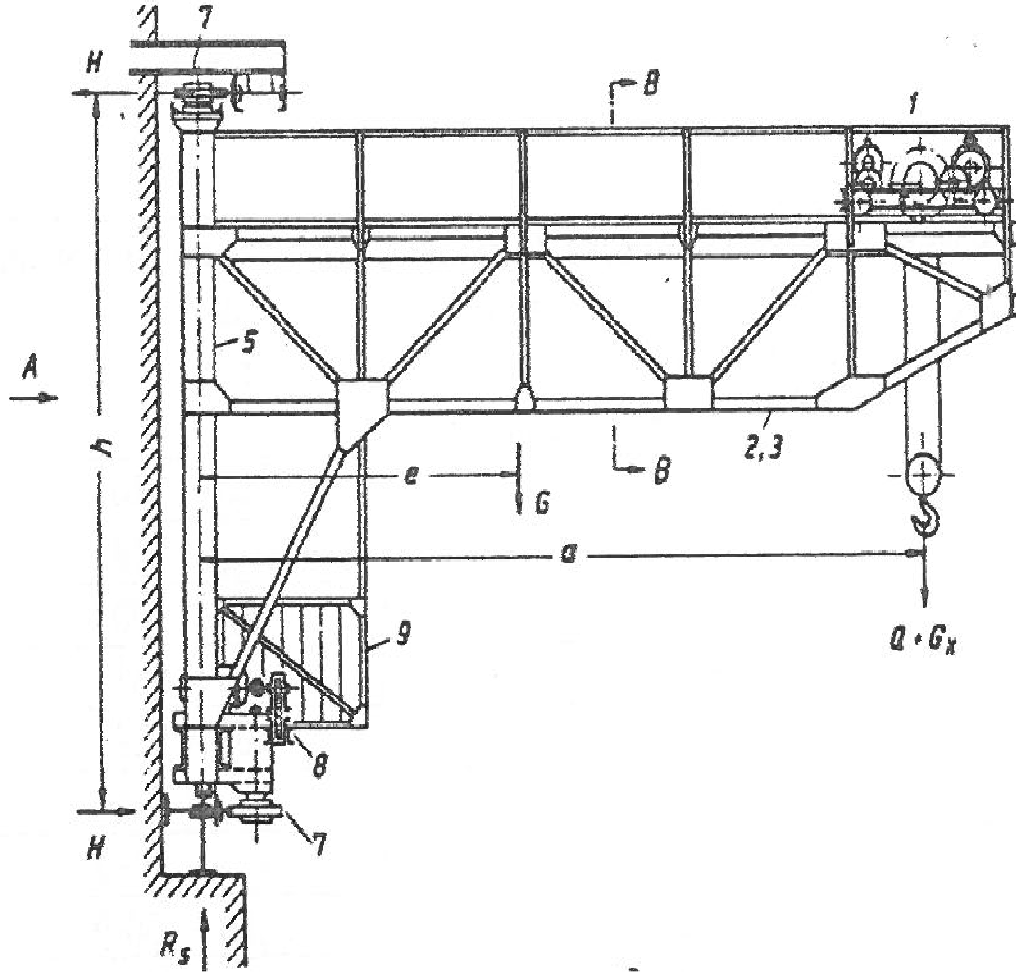
Tahrik genel olarak elektrikli dir. Kren gövdesi küçük açıklarda dolu gövdeli kiriş, büyük açıklarda ise kafes kiriş olarak yapılmaktadır.



Şekil 2.1 : 2x275 Tonluk Portal Kren

2.4 Konsol (Duvar) Krenleri

Gezer krenin işletmedeki görevini hafifletmek için konsol krenleri kullanılır. Hal' in (hangarın) yaklaşık üçte birine uzanan bumu ile atölye boyunca yerleştirilmiş iletim yolu üzerinde hareket etmekte ve özellikle hafif yükleri yüksek hızlarda iletmektedir (Şekil 2.2). Taşıma kapasiteleri 2 ila 10 t, bum 4 ila 10 m arasında ve hareket hızı 100 ila 200 m/dak' ya kadar olabilmektedir. Yapım, hareketli gövdeye bağlanan bum ve onun üzerinde hareket eden kedi veya döner bir bum şeklindedir. Atölyenin zemininden uç noktaya kadar hareket edebilmek için kren kirişi üzerine kedi yerleştirilir ve ender olarak dönebilen bum yerleştirilir. Tahrik genellikle elektrikle yapılır., ender durumlarda ise elle tahrik sistemi kullanılır.



Şekil 2.2 : Üst kısmında kedi hareket eden konsol kren

2.5 Döner Krenler

Bu krenlerde dönen bum bir sütun ile sabit bir şekilde bağlanmıştır. Sütun üstten ve alttan dönebilir şekilde yataklanmıştır. Yatakların bağlanmasının mümkün olduğu yerlerde bu yapım şekli tercih edilir [8].

Döner kren basit bir yapım şekli ile dairesel hareket yapmaktadır. Diğer hareketlerin ilavesiyle dairesel hareket bir alan taramasına dönüştürülebilir. Bu bumun üzerine hareketli bir arabanın yerleştirilmesi, bumun çekilebilir veya salınım yapabilir şekilde yapılması ile gerçekleşir. Döner sütunlu kren, üst kısmından duvara tespit edilmekte bu şekilde dairesel bir hareket elde edilmektedir. Binaya yapılan bağlantı ile yalnızca maksimum 270° lik bir salınım açısına ulaşır. Dönme yönünden bu tür bir sınırlama sabit sütunlu döner krenler ile ortaya çıkmamaktadır (Şekil 2.4 a ve b).

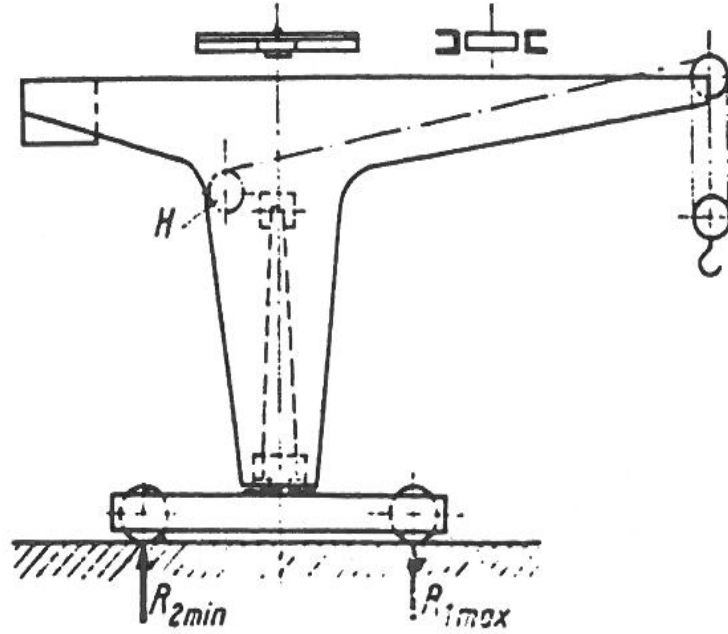
Diğer taraftan sık olmasa da sabit sütunu hareketli bir alt arabaya yerleştirilmiş olan tek raylı döner kren veya bisiklet kren olarak isimlendirileni de kullanılmaktadır. Şekil 2.3' de üst kısımda kedi hareket eden tek raylı bir konsol kren gösterilmektedir. Zeminde bulunan bir ray üzerinde hareket eden krenin hareket yönünde stabil olması gerekir. Bu duruma dik durumda kren makaralarla çatı konstrüksiyonuna tespit edilmiş yatay bir hareket yoluna dayanmaktadır. Atölye duvarı boyunca yerleştirilmesi halinde bu bir konsollu döner krendir ve yandaki atölyeye enine bir iletimi sağlayabilir.

2.5.1 Döner Duvar Krenler

Bu duvar krenleri depolarda, limanlarda, istasyonlarda ve atölyelerde takım tezgahlarına hizmet işlerinde kullanılmaktadır.

Taşıma kapasiteleri 1 ila 3 t ve açıklıkları genellikle düşüktür. Bina duvarının yüklenmesi nedeniyle yük momenti genellikle 10 tm' nin üzerine çıkmamaktadır. Özel olarak 10 t taşıma kapasitesine ve 40 ila 50 tm yük momentlerine kadar da kullanılabilir. Dönme açısı çok kere 180° dir. Bina köşelerinde 270°' ye ulaşılabilir.

En basit yapım şeklinde döner duvar kreni döner bir sütundan, üstte enine bir yataktan ve sütuna bağlanan çubuklardan oluşmaktadır.



Şekil 2.3 : Tek raylı döner kren

2.5.2 Sabit Sütunlu Duvar Krenler

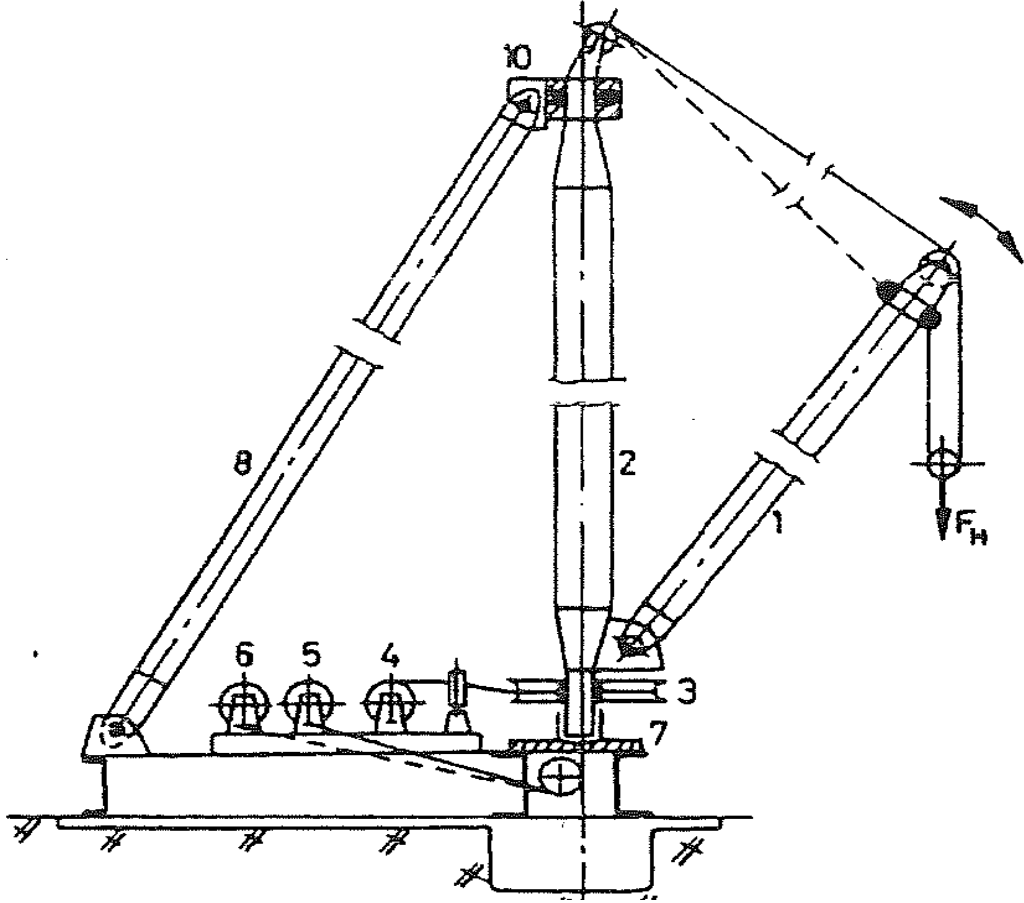
Bir duvar kenarına yerleştirilen, döner duvar krenlerin dönme açısı sınırlı olduğundan sabit sütunlu döner krenler ile sınırsız bir dönme imkanına ulaşılabilmektedir. Şekil 2.4’ de sabit sütunlu döner kren gösterilmektedir.

Sütun zemin veya arabaya oturtularak, döner kısım üstten bir aksel ve radyal yatak, alttan ise bir radyal yatak ile yönlendirilmektedir. Kaldırma ve döndürme sistemleri döndürülen kısım üzerine oturtulmakta ve sütun tarafından karşılanması gereken momentleri mümkün olduğunca küçük tutabilmek için çok kere bir karşı ağırlık kullanılmaktadır.

Yerel olarak sabit krenler, çok kere tren istasyonlarında, limanlarda, gemilerde yükleme işlerinde, fabrikalarda takım tezgahlarında ve dökümhanelerde derecelerin kaldırılması gibi hizmet işlerinde v.s. gibi hafif ve çok sık olmayan işlerde kullanılırlar. Kaldırma kapasitesi 8 ton’ a kadar, açıklık 10 m’ ye kadar, max yük momenti 300 kNm’ ye kadar olmaktadır. Standart kren olarak sabit sütunlu kren oldukça ucuzdur.

2.5.4 Derrik Krenler

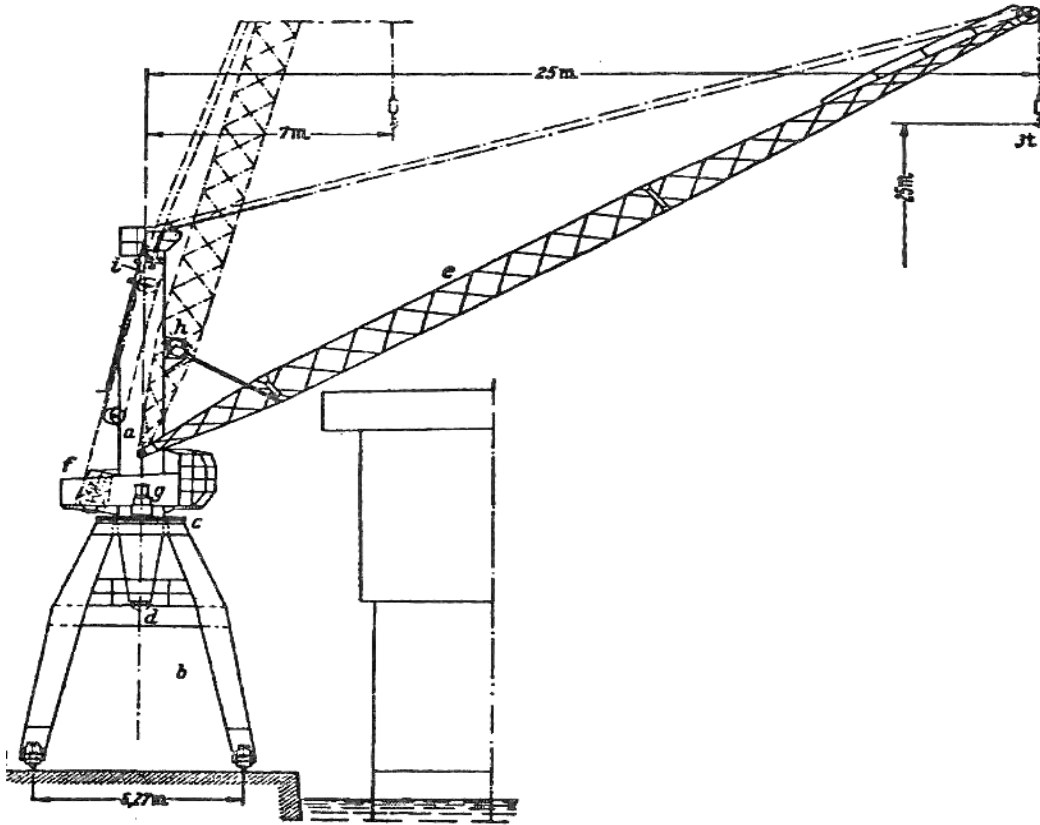
Derrik krenler inşaat ve montaj krenleri olarak ve çok kere taş ocaklarında kullanılırlar. Dönen sütunun üst yatağı üç ayaklı destek (burada sütun bu desteğin üçüncü ayağını oluşturmaktadır veya birço halat tarafından tutulurken alt yatak zemine veya kren platformuna oturtulur. Şekil 2.5' de derrik kren gösterilmektedir. Destekler dönme açısını yaklaşık 250° ile 270° de sınırlarken halatlarla bağlantı 360° dönebilme olanağını mümkün kılabilir. Bum bir palanga ile çekilebilir şekilde düzenlenmiş olup böylece açıklık değişmekte ve dairesel bir zemine hizmet edebilmektedir. Bu krenler yerel olarak sabit bir şekilde kullanılmakla beraber hareketli olarakta düzenlenebilmektedir. Bugün kullanılan derrik krenlerin taşıma kapasiteleri 20 tona (300 t) ve açıklıkları 50 m' ye kadar olmaktadır.



Şekil 2.5: Derrik kren

2.5.5 Ayaklı Döner Krenler

Bu tür krenler genellikle büyük depolama alanlarında ve limanlarda kullanılmaktadır. Kren, raylar üzerinde hareket eden ayaklar üzerine oturtulmuş olup ayaklar arası açıklık prensip olarak tek veya çift kren rayları üzerinde köprü oluşturacak şekildedir. Küçük krenlerde üç ayak, fakat genellikle dört ayak kullanımı söz konusudur. Şekil 2.6' de ayaklı döner kren gösterilmektedir.

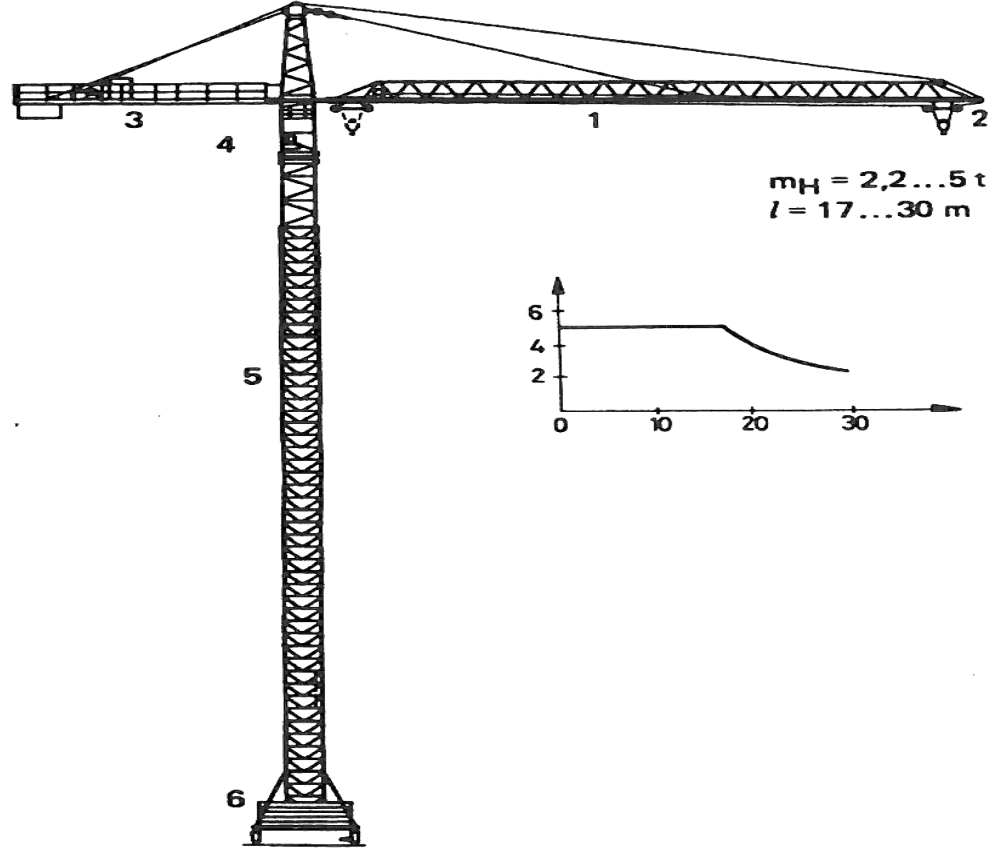


Şekil 2.6: Ayaklı döner kren

2.6 Döner Kule Krenleri

Döner kule krenlerde karakteristik olan özellik, onun kule şeklindeki durağan direği ile büyük açıklıkta ve yüksekteki bumudur. Küçük oturma alanı, büyük kaldırma yüksekliği, büyük bir yükleme açıklığı ve yükün hassas bir şekilde hareketidir. Döner kule krenlerde bum çekilebilir, salınım hareketi yapılabilir, veya sabit yapılarak üzerinde kedi hareket ettirilebilir. Şekil 2.7' de kulesi sabit döner kule kreni gösterilmektedir.

Taşıma kapasitesi 1 ila 8 t, maksimum bum açıklığı 10 ila 60 m, kaldırma yüksekliği 20 ila 60 m ve kren hareket hızı 12,5 ila 40 m/dak arasında değişmektedir.



Şekil 2.7: Kulesi sabit döner kule kreni

2.7 Araç Krenleri

Kaldırma sistemleri ile donatılan araç krenleri yol veya ray üzerinde hareket etmekte olup döner buma sahiptirler. Bunların çok yönlü kullanılmaları nedeniyle yolda hareket eden araç krenleri, ray üzerinde hareket edenlerden genel olarak çok daha büyük önem taşımaktadırlar. Şekil 2.8’ da mobil kren gösterilmektedir.

Ayrıca mobil kren (pnömatik lastikli veya dolu lastikle donatılmış alt araba), oto kren (kamyon şasi özelliklerine sahip pnömatik lastikli tahrik edilen bir alt araba),

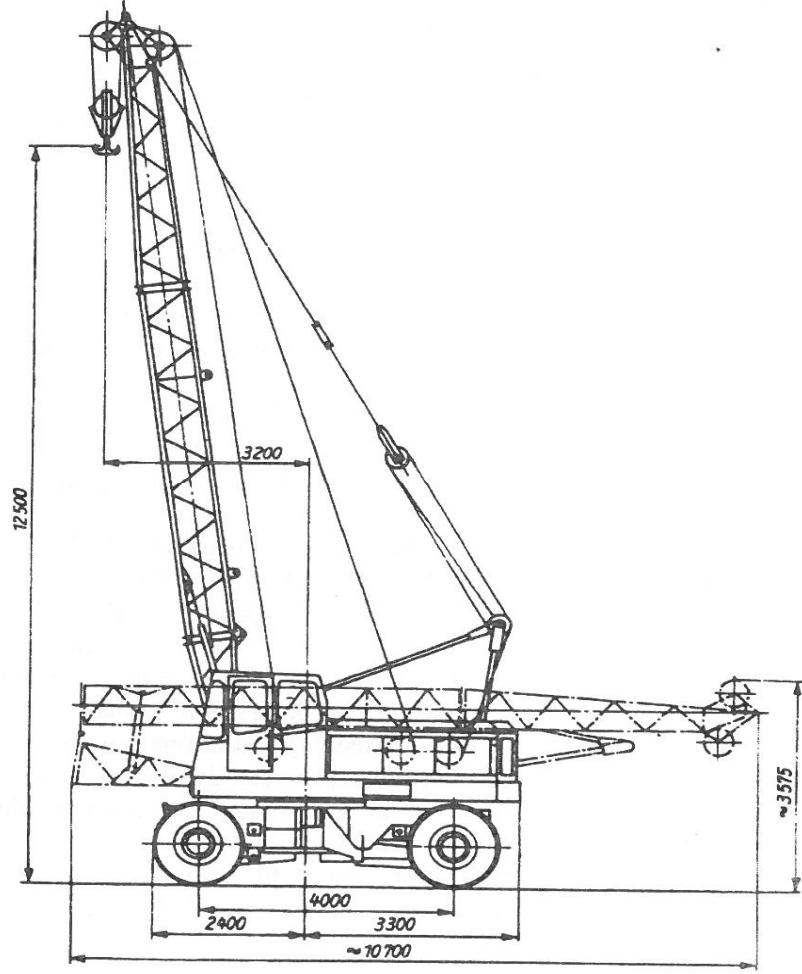
römork kreni (tahrik sistemi olmayan pnömatik lastikli alt araba) gibi araç krenleri kullanılmaktadır. Mobil kren ile oto kreni birbirinden ayırt etmek çok zordur.

Mobil sınıfına girenler;

- 20 km/h hızın altında yavaş hareket eden ve kren üst arabasında yalnız bir tahrik motoru ve kumanda kabini olan makinalar.
- 20 km/h hızın üzerinde hareket eden çift akslı, tek motorlu şasi ve üzerine kumanda kabini yerleştirilmiş krenler

Oto kren sınıfına girenler:

- 20 km/h hızın üzerinde hareket eden, iki enerji kaynaklı (biri şasi ve diğeri kren üst arabası üzerinde) ve iki kumanda kabinli (biri yol hareketi diğeri krenin çalıştırılması için) krenler
- 20km/h hızın üzerinde hareket eden tek enerji kaynaklı iki veya çok akslı, fakat iki kabinli (biri yol hareketi ve diğeri krenin üst arabası üzerinde) krenler

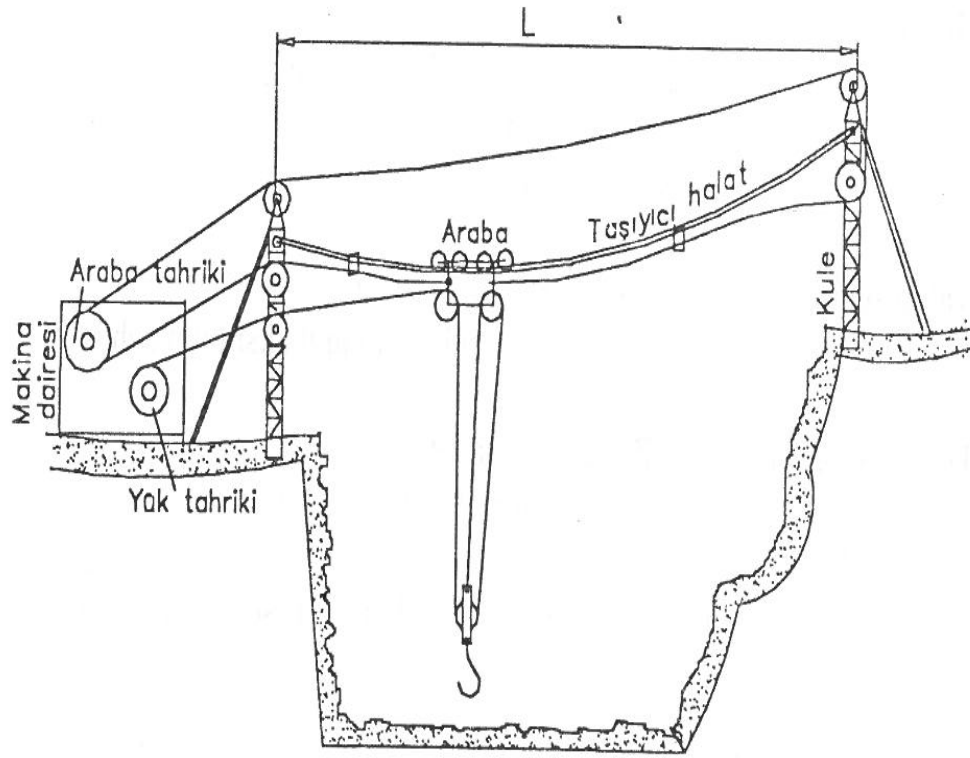


Şekil 2.8: Mobil kren

2.8 Kablolü Krenler

Kablo lu krenlerde, iki kule arasına kablo lu kiriş halat gerilerek bunun üzerinde de araba yürütülür. Kablo lu krenler, hareket kabiliyetine göre üç gruba ayrılır. Şekil 2.9’ da kablo lu bir krenin şematik resmi gösterilmektedir.

- Sabit kablo lu krenler
- Açısal hareketli kablo lu krenler
- Yürür kablo lu krenler



Şekil 2.9: Bir kablolu krenin şematik resmi

3. GEZER KÖPRÜLÜ KREN ELEMANLARI

3.1 Giriş

Gezer krenler bütün krenler arasında endüstride ekonomik olarak en çok kullanılan krendir. Kren köprüsü, yüksekte bulunan kren rayları üzerinde hareket etmektedir. Köprü aynı zamanda arabanın (kedinin) hareket yolunu oluşturmaktadır. Arabanın üzerine de, yükü indirip kaldıran kısaca vinç dediğimiz (palanga, tambur, dişli kutusu ve kaldırma motoru gibi) kaldırma mekanizması ile; arabayı köprü üzerinde yürüten elektrik motoru ile tahrik sistemi ve tekerlekler gibi elemanları taşır.

Gezer köprülü krenler genellikle fabrika içinde kapalı hacimlerde çalıştıkları gibi açık havada da çalışmaktadırlar. Açık havada çalışan krenler, örtülmüş tahrik sistemleri ve rüzgar direncini aşabilmeleri için fabrik içinde çalışan krenlerden daha güçlü olan tahrik sistemleri yönünden farklılık gösterirler. Gezer köprülü krenlerin en büyük avantajı, kren yolunun çatı konstrüksiyonunun ayaklarına yerleştirilmesi nedeniyle fabrikanın zemini serbest kalmasıdır.

3.2 Ana Kiriş

Kısa kren yollarında veya çok az kullanılan işletmelerde, küçük taşıma kapasitelerinde (10 t) ve 20 m açıklığa kadar kediler I-profilinden taşıyıcı kirişlerin alt kenarlarında hareket etmektedir.

Kaldırma sistemi olarak zeminden kumandalı elle çalışan zincirli, elektrikle çalışan zincirli veya halatlı ceraskallar kullanılmaktadır. Kren ve kedi tahrik sisteminde genel olarak frenli redüktörlü motorlar kullanılmaktadır.

Ağır köprülü krenlerde kedi rayları genel olarak dikdörtgen iki kutu profilinin iç kenarlarında bulunmaktadır. Ana kirişleri oluşturulan bu kutu profiller her iki sonlarından baş kirişlere civatalarla bağlanırlar veya kaynak edilirler.

3.3 Baş Kiriş

Kren tekerleklerinin yataklanması, ana ve yan kirişlerin bağlanması için baş kiriş, normal [- profil veya ağır krenlerde kutu profil olarak yapılır. Uzunluğu kren tekerlekleri aralığı ile kedinin tekerlek aralığına ve her iki platform genişliklerinin toplamına bağlı olarak belirlenmektedir. Kren tekerlekleri arası mesafenin kren açıklığına oranı ne kadar büyük ise kren rayları üzerindeki eğik hareket açısı o kadar küçüktür. Diğer taraftan aşırı derecede uzun bir baş kiriş malzeme sarfiyatı ortaya çıkarır.

Baş kiriş iki noktadan destekli ve iki taraflı bir konsol kiriştir. Kren platformunun birinde kren tahrik sistemi ve kumanda kabini bulunduğundan, daimi yk tesiri simetrik değildir. Bbasit olması için fazla yüklenen baş kirişin yarısı hesaplanır. Ve yk farklılığı ihmal edilir.

Yükler baş kirişe ana ve yan kirişin bağlantı yerlerinden tesir etmektedir. Bağlantı yerleri dik ve yatay kuvvetleri karşılamak durumunda olduklarından, mukavemet yönünden gereken önemin verilmesi gerekir. Baş kirişe tesir eden kuvvetler şunlardır:

3.3.1 Ana Kuvvetler

Dik tesir eden ve eğilmeye zorlayan kuvvetlerdir. Daimi yk ve hareketli yük olmak üzere iki çeşit yk tesir etmektedir. Daimi yk; ana kirişin kütlesi, yan kirişin kütlesi, platform ile enine diagonal çubukların kütlesi ve kren tahrik sisteminin kütlesinden oluşmaktadır. Hareketli yük ise; kedi kütlesinden, yükten ve yükün hareketinden oluşan atalet kuvvetinden oluşmaktadır.

3.3.2 Ek Kuvvet

Yatay eğilmeye zorlayan kuvvettir. Kedinin frenlemesinden baş kirişe yatay bir fren kuvveti, DIN normlarına göre frenlenen kedi tekerlekleri yükünün 1/7' si kedi rayının st kenarına tesir ettiği kabul edilmektedir. Ayrıca, krenin eğik hareketi ile tekerlek kenarlarının raya sürtünmesiyle yan kuvvetler yatay olarak tesir etmektedir.

Bu kuvvetler, kedinin fren kuvvetleri ile kren tekerlek kuvvetlerinin 1/10' u kadar, kedinin uygun olmayan konumuna göre kesaplanmalıdır. Kedinin fren kuvvetlerinin artık ayrıca hesaplanmasına gerek yoktur.

Krenin inşaat yerine nakliyesinin dikkate alarak krenin her iki parçası (ana ve yan kiriş enine bağlantıları ile) atelyede birleştirilir. Baş kirişte aynı şekilde parçalı yapılarak atelyede civatalarla birleştirilir ve nakliyeden sonra yerinde perçinlenir.

3.4 Kediler (Arabalar)

Kedi üç ana kısımdan olmaktadır.

- Makara takımı, halat tamburu, denge makarası, dişli kutusu, fren ve tahrik motorundan oluşan kaldırma sistemi,
- Tekerlekler, dişli kutusu, fren (her zaman kullanımayabilir) ve tahrik motorundan oluşan kedi hareket sistemi,
- Bütün parçaların oturdukları ve birbirine bağlandıkları kedi çerçevesi,

Kedi konstruksiyonunda aşağıdaki hususlar büyük önem taşımaktadır:

- Bütün parçaların, özellikle kaldırma sisteminin freni işletme yönünden emniyetli olması,
- Halat tamburunun (halatın değiştirilebilmesi), frenin ve tekerleklerin kolay sökülüp takılabilmesi,
- Kren köprüsünün uygun zorlanması için yük tekerleklerle eşit şekilde dağıtılmalı,
- Bütün parçaların montajları kolay bir şekilde yapılabilmesi,
- Düzenleme mümkün mertebe sıkışık ve ağırlık yönünden düşük olmalı,
- Çok yönlü kullanım olanağı sağlanmalıdır.

Kedinin sıkışık ve küçük hacimde yapılmasıyla, küçük hacimdeki iş yerlerinde kullanılması kolaylaşmaktadır. Ayrıca, kedinin yüksekliğinin de mümkün mertebe küçük tutulması ile mevcut ve alçak işletmelerde kullanılması mümkün olabilir.

Kren konstruksiyonlarında genel olarak 30 t taşıma yüküne kadar 4 halatlı, 100 t taşıma yüküne kadar ise 8 halatlı makara takımı kullanılır. Kedinin çerçevesi hadde profillerinin dikdörgen şekilde kaynak edilmesi ile oluşturulur. Tamburun, denge makarasının, tekerleklerin ve diğer makina parçalarının yataklanması için ana kirişlerin arasına diğer kirişler yerleştirilir.

Kedi çerçevesinin, halat tamburunun, yatak parçalarının ve benzer parçaların hafif metalden yapılması ile ağırlıktan % 40-50 mertebesinde bir tasarruf sağlanabilir.

3.5 Kren Parçalarının İmalatı

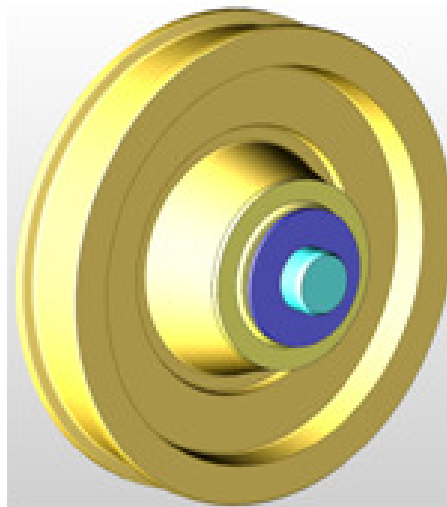
Gezer köprülü krenler, genellikle metal saclardan ve dökümle elde edilen parçalar kullanılarak imal edilirler. Metal sacların kesimi, “nesting” adı verilen yöntemle gerçekleştirilmektedir. Dökümle elde edilen parçalar ise talaşlı imalat prosesinden sonra hazır hale getirilirler.

3.5.1 Kesim işlemi

Tasarımcı, elde ettiği hesaplamalar ve teknik çizimlere göre krenin parçasını oluşturacak sacın iki boyutlu resmini Autocad programında hazırlayarak lazer kesim cihazına gönderir. Lazer kesim cihazı ise bu çizimi kullanarak kesim koordinatlarını belirleyerek en hassas şekilde kesimi gerçekleştirir. Nesting yöntemi ile krenin imalatında kullanılacak olan sacların lazer kesim cihazında kesilmesi, farklı veya aynı boyutlardaki sac parçalarının, tek bir sacdan en az malzeme firesi ile kesilerek çıkartılabilmesine olanak sağlar. Şekil 3.4’ de görüldüğü üzere, kalite grubu, kalınlığı ve boyutları belirli olan dikdörtgen büyük bir sac üzerinde, krenin imalatı için kullanılacak büyük, orta ve küçük boyutlardaki sac parçalarının sınırları yeşil çizgilerle belirlenmiştir. Yeşil çizgiler, sac kesme işlemi sırasında lazer kesim cihazının kesme işlemi için takip edeceği yolları programda tanımlar. Mavi renkteki yazılar, kesilerek çıkarılan kren sac parçalarının parça isimleri olarak program tarafından algılanır. Şeklin sağ tarafında görülen kırmızı sınırlar ise, krenin imalatında kullanılacak herhangi bir sac parça kesimi için, üzerinden kesim yapılacak olan büyük sac üzerinde sınırı oluşturulmamış malzeme firesi anlamına gelen bölgeyi ifade etmektedir.

[illegible]

3.5.2 Dökümle elde edilen parçalar



4. ÇİFT ANA KİRİŞLİ KÖPRÜLÜ KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada incelenen çift ana kirişli gezer köprülü krenin, gemi tersanelerinin ihtiyacına yönelik tasarlanmıştır. Bu bölümdeki veriler, daha sonra mukavemet hesaplarında ve sonlu elemanlar yöntemi analizlerinde kullanılacaktır.

4.1 Teknik Özellikler

Kren Tipi	: Çift Ana Kirişli Gezer Köprülü Kren
Kaldırma Kapasitesi	: 15.000 kg
Kren Yürüme Ray Açıklığı	: 39.400 mm
Kaldırma Yüksekliği	: 15.500 mm
Yürüme Rayı Uzunluğu	: 140 m

4.2 FEM Standartlarına Göre Gruplandırma

Taşıyıcı Konstrüksiyon	
Yükleme Tekrarı	: U3
Yükleme Durumu	: Q3
Grubu	: A4
Malzeme	: St 37 ve A Grade

4.3 Tahrik Sistemleri

Ana Kaldırma Grubu	: M5
Araba Yürütme Grubu	: M5
Kren Yürütme Grubu	: M5

4.4 Kaldırma Grubu

Kaldırma Kapasitesi	: 15.000 kg
Kaldırma Yüksekliği	: 15.500 mm
Ana Kaldırma Hızı	: (İnverterli) 0 ÷ 9 m/dak
Ana Kaldırma Motoru	: 30 kW
Araba Yürütme Freni	: 2 x 3 daN.m
Araba Tipi	: Çift Raylı Üst Araba
Araba Yürüme Rayı	: 50x50 mm ²
Araba Yürüme Hızı	: (İnverterli) 0 ÷ 32 m/dak

4.5 Kren Yürütme Grubu

Tekerlek Ekseni	: 4.500 mm
Tekerlek Çapı	: Ø630 mm
Kren Yürüme Hızı	: (İnverterli) 0 ÷ 40 m/dak
Kren Yürütme Motorları	: 2 x 4 kW

5. ÇİFT ANA KİRİŞLİ GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN MUKAVEMET HESAPLARI

Kren mukavemet hesapları DIN standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. Hesaplamalar sırasında krenin maruz kaldığı kuvvetler dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu bölümde öncelikle krenin çalışması esnasında etkiyen kuvvetlere değinilecektir. Daha sonra ise ana kirişin mukavemet hesapları anlatılacaktır.

5.1 Krenin Maruz Kaldığı Kuvvetler

Gezer köprülü kren sistemi yükleme esnasında iç ve dış yüklere maruz kalmaktadır. Kren üzerine çalışma ve durma halinde etkiyen yükler, krenin kendi ağırlığı, taşınan yük, kren ve arabalarının hareketleri sırasında doğan dinamik yükler olarak sayılabilir [9].

5.1.1 Zati ağırlıklar

Kren tasarımında ilk göz önüne alınması gereken kren parçalarının kendi ağırlıklarıdır, çünkü her koşulda etki etmektedirler. Bunlar, krenin zati ağırlığı, araba ağırlığı ve kanca ağırlıklarıdır. Araba ve kanca ağırlıkları, ana kiriş boyunca hareket etmektedir.

Krenin zati ağırlığı: Kreni oluşturan parçalardan kaynaklanmaktadır. Bu ağırlık krenin boştayken sehim yapmasına neden olur.

Araba ağırlığı: Kren ana kirişi üzerinde, raylar boyunca hareket eden iki araba yükü yatay yönde taşınmasını sağlamaktadırlar. Araba 4 teker üzerinde hareket eder. Araba zati ağırlığı hesaplamalarda dikkate alınmaktadır.

Kanca ağırlığı: Yükün taşınmasını sağlayan kancalar halatlar vasıtasıyla arabalara bağlanmaktadır. Hesaplamalar sırasında kanca yükü dikkate alınmaktadır.

5.1.2 Çalışma yükü

Araba 15 ton yük taşıyabilmektedir. Bu yük, çalışma esnasında ana kiriş boyunca hareket etmektedir. Krenin maruz kaldığı gerilmeler ve sehimler en çok bu yükten

kaynaklanmaktadır. Sisteme etkiyen 15 ton yükün neden olduğu etki titizlikle hesaplamalarla ve sonlu eleman analizleri ile tespit edilmekte, dolayısıyla gerekli görüldüğünde sisteme takviye mukavemet parçaları eklenmektedir.

5.1.3 Dinamik yükler

Dinamik yükler ivmelenme ve frenleme sırasında oluşan yüklerdir. Bu yükler, hareket eden cismin kütlesi ile ivmenin çarpımıyla bulunabilir. Krenin ivmesi göz önünde bulundurulduğunda bu kuvvet, kren ağırlığının otuzda birine denk gelmektedir. Bu yük sadece krenin hareket yönünde uygulanmaktadır. Krenin zati ağırlığından kaynaklanan yükün yanı sıra, arabanın taşıdığı yükün arabanın frenlenmesi esnasında oluşan atalet kuvvetleri, ana giriş boyunca etkimektedir. Bu yükün değeri taşınan yükün otuzda biri kadardır.

5.2 Ana Kirişin FEM ve DIN Normlarına Göre Mukavemet Hesabı

5.2.1 Çift Ana Kirişli Köprülü Krenin Teknik Özellikleri

Kaldırma yükü: $G_y = 15000kg$

Yerçekimi ivmesi: $g = 9,807m/s^2$

Kaldırma kuvveti: $F_y = G_y \cdot g = 15000 \cdot 9,807 = 147100N$

Kaldırma hızı: $v_h = 9m/dak$

Köprü açıklığı: $L_h = 28000mm$

Araba' nın yürüme hızı: $v_a = 32m/dak$

Araba' nın öz ağırlığı: $F_{ara} = 3000kg$

Araba' nın öz ağırlık kuvveti: $F_{AA} = F_{ara} \cdot g = 3000 \cdot 9,807 = 29420N$

Araba' nın tekerlek aks açıklığı: $L_a = 2m$

Kren' in yürüme hızı: $v_h = 40m/dak$

Kren girişindeki emniyetli sehim köprü açıklığına bağlı olarak değişir. Buna göre;

$$f_{em} = \frac{L_k}{1000} mm \quad (5.1)$$

$$f_{em} = \frac{28000}{1000} = 28mm$$

Hesap için gerekli tekerlek kuvveti;

$$F_{TD} = \frac{F_y + F_{AA}}{n_t} \quad (5.2)$$

$$F_{TD} = \frac{147100 + 29420}{4} = 44130N$$

Elastiklik modülü

$$E = 210000N / mm^2$$

Poisson sayısı

$$\mu = 0,3$$

5.2.2 FEM' e göre yükleme halleri

Avrupa Kaldırma Araçları İmalatçıları Birliği FEM' e göre krenlerde çelik konstrüksiyon hesapları yapılırken üç işletme halinin bulunduğu kabul edilir [4]..

- I. Hal: Rüzgar kuvveti bulunmayan normal işletmeler,
- II. Hal: Şiddetli rüzgar kuvvetinin bulunduğu işletmeler,
- III. Hal: Çok özel etkiler altında çalışan işletmeler,

Genelde atölye vinçleri için “ I. Hal “ geçerlidir.

FEM standartlarına göre kaldırma ve yükleme grupları belirlenmiştir. Buna göre;

Kaldırma Grubu : M5

Yükleme Grubu : A4 seçilmiştir.

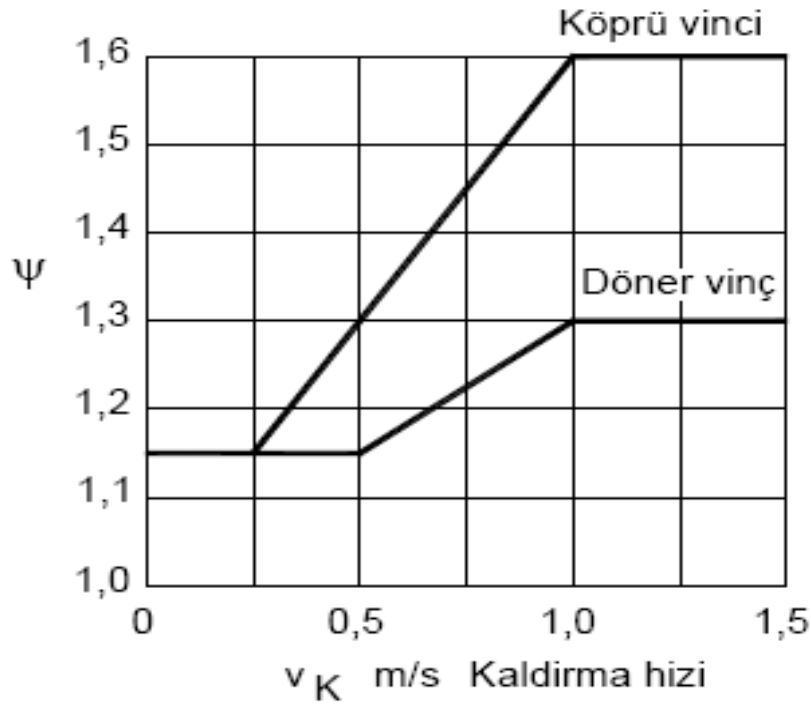
Kaldırma makinasının çalışma tipine göre FEM ve DIN standartlarına uygun olarak çeşitli tablolar oluşturulmuştur. Yükseltme katsayısının kaldırma grubuna göre seçimi Çizelge 5.1' de görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Kaldırma grubuna göre yükseltme katsayısı

Kaldırma Grubu	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Yükseltme Katsayısı (ψ)	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,2

Kaldırma yükü katsayısı kaldırma makinasının (kren veya vincin) kaldırma hızıyla ilgili tayin edilmiş bir katsayıdır. Kaldırma yükü katsayısı “ ψ ” 1.15 değerinden daha küçük seçilemez. Şekil 5.1’ de kaldırma yük katsayısının kaldırma hızına göre değişimi görülmektedir.

Kaldırma hızı: $v_h = 9m / dak = 0.15m / s$ olduğundan Şekil 5.1’ den $\psi=1.15$ seçilir.



Şekil 5.1: Kaldırma yükü katsayısı

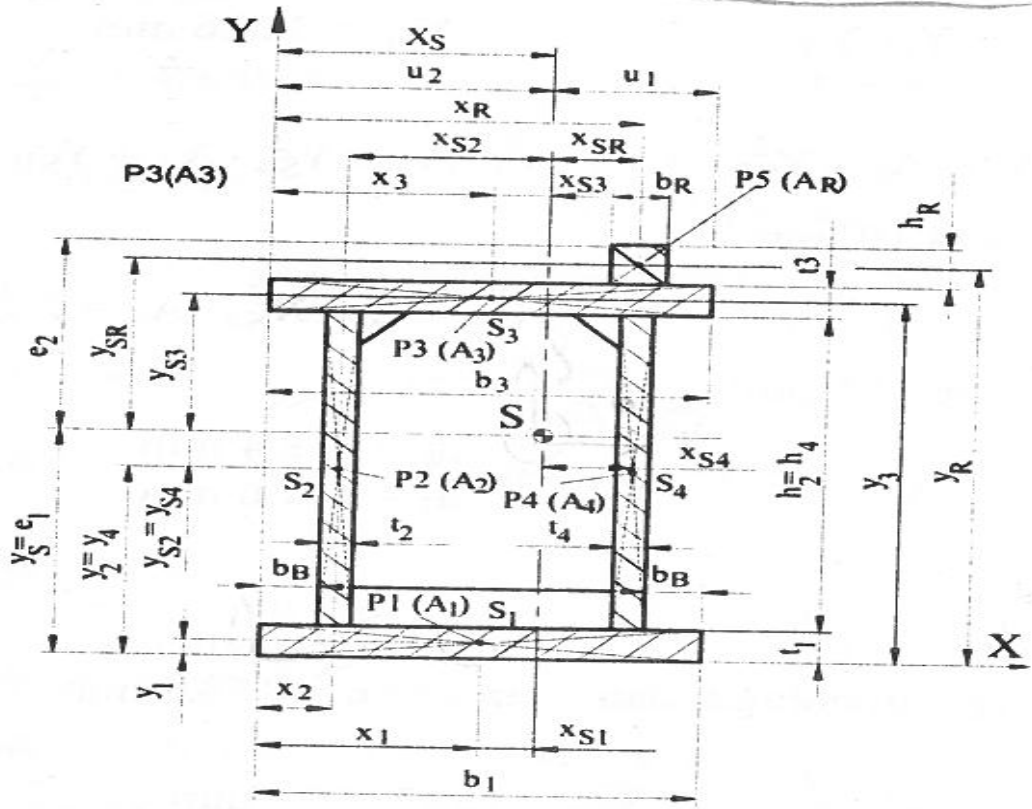
5.2.3 Çift kirişin ilk boyutlandırılması

Kren kirişi hesaplarında kirişin ilk veya yeniden boyutlandırılması için “ kesit atalet momentinin bulunması gereklidir. Kesit atalet momenti denklem (5.3)’ deki gibi hesaplanır.

$$I_{xger} = \frac{[F_{TD} \cdot (L_k - L_a)]}{48 \cdot E \cdot f_{em}} \cdot [3 \cdot L_k^2 - (L_k - L_a)^2] \quad (5.3)$$

$$I_{xger} = \frac{[44130 \cdot (28000 - 2000)]}{48 \cdot 210000 \cdot 28} \cdot [3 \cdot 28000^2 - (28000 - 2000)^2] = 6,813 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

5.2.4 Kiriş seçimi hesabı;



Şekil 6.2: Enine kesit boyutları

$$b_1 = 745 \text{ mm}$$

$$t_1 = 11 \text{ mm}$$

$$h_2 = 1450 \text{ mm}$$

$$t_2 = 6 \text{ mm}$$

$$b_3 = 745 \text{ mm}$$

$$t_3 = 12 \text{ mm}$$

$$h_4 = 1450mm$$

$$t_4 = 6mm$$

$$b_R = 50mm$$

$$h_R = 50mm$$

$$b_B = 29mm$$

$$L_{pe} = 1565mm$$

$$t_{pe} = 5mm$$

Parçaların ve sistemin alanı:

$$A_1 = b_1 \cdot t_1 = 745 \cdot 11 = 8195mm^2$$

$$A_2 = h_2 \cdot t_2 = 1450 \cdot 6 = 8700mm^2$$

$$A_3 = b_3 \cdot t_3 = 745 \cdot 12 = 5960mm^2$$

$$A_4 = h_4 \cdot t_4 = 1490 \cdot 6 = 8700mm^2$$

$$A_R = h_R \cdot b_R = 50 \cdot 50 = 2500mm^2$$

$$A_{top} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_R = 34000mm^2$$

Parçaların ağırlık merkezlerinin koordinatları:

$$X_1 = 0.5 \cdot b_1 = 373mm$$

$$X_2 = b_B + 0.5 \cdot t_2 = 320mm$$

$$X_3 = 0.5 \cdot b_3 = 373mm$$

$$X_4 = b_3 - b_B - 0.5 \cdot t_2 = 713mm$$

$$X_R = b_3 - b_B - 0.5 \cdot t_4 = 713mm$$

$$Y_1 = 0.5 \cdot t_1 = 5.5mm$$

$$Y_2 = t_1 + 0.5 \cdot h_2 = 736mm$$

$$Y_3 = t_1 + 0.5 \cdot t_3 + h_2 = 1465mm$$

$$Y_4 = t_1 + 0.5 \cdot h_2 = 736mm$$

$$Y_R = t_1 + t_3 + h_2 + 0.5 \cdot h_R = 1494mm$$

Kirişin ağırlık merkezinin koordinatları “ X_s ve Y_s “ denklem (5.4) ve (5.5)’ e göre bulunur.

$$X_s = \frac{X_1 \cdot A_1 + X_2 \cdot A_2 + X_3 \cdot A_3 + X_4 \cdot A_4 + X_R \cdot A_R}{A_{top}} \quad (5.4)$$

$$X_s = \frac{373 \cdot 8195 + 320 \cdot 8700 + 373 \cdot 5960 + 713 \cdot 8700 + 713 \cdot 2500}{34000} = 397mm$$

$$Y_s = \frac{Y_1 \cdot A_1 + Y_2 \cdot A_2 + Y_3 \cdot A_3 + Y_4 \cdot A_4 + Y_R \cdot A_R}{A_{top}} \quad (5.5)$$

$$Y_s = \frac{5.5 \cdot 8195 + 736 \cdot 8700 + 1465 \cdot 5960 + 736 \cdot 8700 + 1464 \cdot 2500}{34000} = 743mm$$

Sistemin kesit elemanlarının ağırlık merkezleri:

$$Y_{s_1} = Y_s - Y_1 = 743 - 5.5 = 737,5mm$$

$$Y_{s_2} = Y_s - Y_2 = 743 - 736 = 7mm$$

$$Y_{s_3} = Y_3 - Y_s = 1465 - 743 = 722mm$$

$$Y_{s_4} = Y_s - Y_4 = 743 - 736 = 7mm$$

$$Y_{s_R} = Y_R - Y_s = 1494 - 743 = 751mm$$

Kirişin x-eksenine göre atalet momenti denklem (5.6)' a göre hesaplanır.

$$I_x = (b_1 \cdot \frac{t_1^3}{12}) + (t_2 \cdot \frac{h_2^3}{12}) + (b_3 \cdot \frac{t_3^3}{12}) + (t_4 \cdot \frac{h_4^3}{12}) + (b_R \cdot \frac{h_R^3}{12}) + Y_{s_1}^2 \cdot A_1 + Y_{s_2}^2 \cdot A_2 + Y_{s_3}^2 \cdot A_3 + Y_{s_4}^2 \cdot A_4 + Y_{s_R}^2 \cdot A_R \quad (5.6)$$

$$I_x = 12 \cdot 10^9 mm^4$$

Kirişin y-eksenine göre atalet momenti denklem (5.7)' e göre hesaplanır.

$$I_y = (t_1 \cdot \frac{b_1^3}{12}) + (h_2 \cdot \frac{t_2^3}{12}) + (t_3 \cdot \frac{b_3^3}{12}) + (h_4 \cdot \frac{t_4^3}{12}) + (h_R \cdot \frac{b_R^3}{12}) + X_{s_1}^2 \cdot A_1 + X_{s_2}^2 \cdot A_2 + X_{s_3}^2 \cdot A_3 + X_{s_4}^2 \cdot A_4 + X_{s_R}^2 \cdot A_R \quad (5.7)$$

$$I_y = 2,941 \cdot 10^9 mm$$

$$e_1 = Y_s = 743mm$$

$$e_2 = Y_R + 0.5 \cdot h_R - Y_s$$

$$e_2 = 1494 + 0.5 \cdot 50 - 743 = 776mm$$

$$u_1 = b_1 - X_s = 745 - 397 = 348mm$$

$$u_2 = X_s = 397mm$$

$$e_{max} = e_1 = 743mm$$

$$u_{max} = u_2 = 397mm$$

Kirişin x-eksenine göre mukavemet momenti:

$$W_x = \frac{I_x}{e_{\max}} = \frac{12 \times 10^9}{743} = 16,174 \times 10^6$$

Kirişin y-eksenine göre mukavemet momenti:

$$W_y = \frac{I_y}{u_{\max}} = \frac{2,941 \times 10^9}{397} = 7,399 \times 10^6$$

5.2.5 Kirişin birim ağırlığı “ q_K

$$k_r = 1,03$$

$$L_{br} = 1m$$

Çeliğin yoğunluğu: $\rho_{st} = 7850 kg / m^3$

Kirişin perdesiz birim ağırlığı denklem (5.8)’ e göre hesaplanır.

$$q_{K1} = A_{top} \cdot L_{br} \cdot \rho_{st} \cdot k_r \quad (5.8)$$

$$q_{K1} = 0.034 \cdot 1 \cdot 7850 \cdot 1.03 = 275,352 kg / m$$

Kirişe belli aralıklarla yerleştirilen perdelerin birim ağırlığı denklem (5.10)’ a göre bulunur.

$$G_{per} = t_p \cdot [b_1 - 2 \cdot (b_B + t_2)] \cdot (h_2 - 50) \cdot \rho_{st} \quad (5.10)$$

Perde ile alt başlık arasındaki boşluk 50 mm dir.

$$G_{per} = 5 \cdot [745 - 2 \cdot (29 + 6)] \cdot (1490 - 50) \cdot \frac{7850}{10^9} = 37,091 kg$$

Denklem (5.11)’ e göre kirişin perde ile birlikte birim ağırlığı hesaplanır.

$$q_K = (q_{K1} + 0.5 \cdot G_{per}) = (275,352 + 0.5 \cdot 37.091) = 293,897 kg \quad (5.11)$$

Servis platformunun birim ağırlığı “ q_p “:

$$q_p = 40 kg$$

5.2.6 Sehim hesabı

$$f_{em} > f_g + f_p$$

f_g : zati ağırlığın oluşturduğu sehim

f_y : yükün oluşturduğu sehim

Denklem (5.12)' de kirişin kendi ağırlığından oluşan sehim bulunur [6].

$$f_g = \frac{5 \cdot G_T \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 1,13 \cdot 293,897 \cdot 9,81 \cdot 28 \cdot 28000^3}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 12 \cdot 10^9} = 10,3mm \quad (5.12)$$

Denklem (5.13)' de ise yükün oluşturduğu sehim bulunur.

$$f_p = \frac{(F_y + F_{AA}) \cdot L^3}{2 \cdot 48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{(147100 + 29420) \cdot 28000^3}{2 \cdot 48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 12 \cdot 10^9} = 16mm \quad (5.13)$$

$$G_T : G_1 + G_0 = 1,13gL$$

5.2.7 Kren kirişindeki normal gerilmeler

Kren kirişinde; kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme (σ_1), arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme (σ_2), kaldırma yükünden ileri gelen gerilme (σ_3), atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme (σ_4) ve araba kasılmasından ileri gelen gerilme olmak üzere beş adet normal gerilme oluşmaktadır [5]..

5.2.7.1 Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme “ σ_1 ”:

Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme, yayılı kuvvetlerin doğurduğu momentten ileri gelen eğilme gerilmeleridir. Bu gerilme değeri denklem (5.14)' e göre hesaplanır.

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_x} \quad (5.14)$$

Kirişte yayılı kuvvetten ileri gelen eğilme momenti (M_1) denklem (5.15)' de hesaplanır.

$$M_1 = \frac{F_{AK} \cdot L_k}{8} \quad (5.15)$$

Kirişteki yayılı yük kuvveti, yani kiriş ağırlık kuvveti (F_{AK}) denklem (5.16)' daki gibi bulunur.

$$F_{AK} = (q_K + q_p) \cdot g \cdot L_k \quad (5.16)$$

Böylece kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme açık haliyle denklem (5.17)' deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_1 = \frac{(q_K + q_p) \cdot g \cdot L_k^2}{8 \cdot W_x} \quad (5.17)$$

$$\sigma_1 = \frac{(293,897 + 40) \cdot 9.81 \cdot 28000^2}{8 \cdot 16,174 \cdot 10^6} = 19,84 N / mm^2$$

5.2.7.2 Araba' nın öz ağırlığından oluşan gerilme “ σ_2 ”:

Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme arabanın öz ağırlığının doğurduğu momentin oluşturduğu eğilme gerilmesidir. Bu gerilme denklem (5.18)' e göre hesaplanır.

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W_x} \quad (5.18)$$

Kirişteki arabanın özağırlığının doğurduğu kuvvetten ileri gelen eğilme momenti (M2) denklem (5.19)' a göre bulunur.

$$M_1 = \frac{F_{AA}}{32 \cdot L_k} \cdot (2 \cdot C - L_a)^2 \quad (5.19)$$

Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme açık haliyle denklem (5.20)' ye göre hesaplanır.

$$\sigma_2 = \frac{F_{AA}}{32 \cdot L_k \cdot W_x} \cdot (2 \cdot L_k - L_a)^2 \quad (5.20)$$

$$\sigma_2 = \frac{29420}{32 \cdot 28000 \cdot 16,174 \cdot 10^6} \cdot (2 \cdot 28000 - 2000)^2 = 5,92 N / mm^2$$

5.2.7.3 Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme “ σ_3 ”:

Kaldırma yükünün ağırlık kuvvetinden ileri gelen gerilme, kaldırma yükünün doğurduğu momentin oluşturduğu eğilme gerilmesidir. Bu gerilme denklem (5.21)' deki gibi bulunur.

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W_x} \quad (5.21)$$

Kaldırılan yükün doğurduğu tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen moment (M_3) denklem (5.22)' deki gibi bulunur.

$$M_3 = \frac{F_{TD}}{32 \cdot L_k} \cdot (2 \cdot L_k - L_a)^2 \quad (5.22)$$

Kaldırılan yükten oluşan gerilme ana büyüklüklerle denklem (5.23)' deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_3 = \frac{F_{TD}}{32 \cdot L_k \cdot W_x} \cdot (2 \cdot L_k - L_a)^2 \quad (5.23)$$

$$\sigma_3 = \frac{147100}{32 \cdot 28000 \cdot 16,174 \cdot 10^6} \cdot (2 \cdot 28000 - 2000)^2 = 29,6 N / mm^2$$

5.2.7.4 Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme “ σ_4 ”:

Kren kirişi ve arabanın kütlelerinin doğurduğu atalet kuvvetinden oluşan gerilme, DIN 15018' e göre bulunan yatay kuvvetlerle hesaplanır. DIN 15018' e göre ivme veya frenlemeden doğan kütle kuvvetlerinin sonucu olarak yatay tekerlek kuvvetleri bulunur. Oluşan gerilme denklem (5.24)' deki gibidir.

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{W_y} \quad (5.24)$$

Atalet kuvvetlerinden ileri gelen moment (M_4)denklem (5.25)' e göre bulunur.

$$M_4 = \frac{L_k}{2} \cdot K_{r1} \quad (5.25)$$

Kren tekerleğindeki ivme ve frenlemeden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet (K_{r1}) denklem (5.26)' daki gibi bulunur.

$$K_{r1} = 0.3 \cdot \frac{1}{2} \cdot [\gamma \cdot (q_K + q_p) \cdot g \cdot L_k + \frac{F_{AA}}{2}] \quad (5.26)$$

Atalet kuvvetlerinden oluşan gerilme açık haliyle denklem (5.27)' deki gibi bulunur.

$$\sigma_4 = \frac{0.075 \cdot L_k}{W_y} \cdot [\gamma \cdot (q_K + q_p) \cdot g \cdot L_k + \frac{F_{AA}}{2}] \quad (5.27)$$

$$\sigma_4 = \frac{0.075 \cdot 28000}{7.399 \cdot 10^6} \cdot [1.08 \cdot (293,897 + 40) \cdot 9.81 \cdot 28 + \frac{29420}{2}] = 28,91 N / mm^2$$

5.2.7.5 Araba kasılmasından ileri gelen gerilme “ σ_5 “:

Kren girişinde araba kasılmasından ileri gelen yatay kuvvetin (F_{ATH}) doğurduğu eğilme momentinden ileri gelen gerilme hesabı FEM’ e göre denklem (5.28)’ e göre hesaplanır.

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{W_y} \quad (5.28)$$

Araba kasılmasından oluşan yatay kuvvetlerden ileri gelen (M_5) momenti denklem (5.29)’ a göre bulunur.

$$M_5 = L_A \cdot F_{ATH} \quad (5.29)$$

Araba kasılmasından ileri gelen araba tekerleğindeki yatay kuvvet (F_{ATH}) denklem (5.30)’ a göre hesaplanır.

$$F_{ATH} = k_\lambda \cdot F_{TD} \quad (5.30)$$

Burada kullanılan yatay yük katsayısı k_λ giriş ray açıklığı ile araba tekerlek aks açıklığı oranına bağlı olarak bulunur. Genellikle köprü krenlerinde daha emniyetli hesap değerleri için k_λ değeri maksimum değeri olan 0,2 kabul edilir. Özel hallerde gerekirse k_λ değeri FEM’ den alınır.

$$k_\lambda = 0,2$$

Böylece değerler kuvvet formülüne denklem (5.31)’ deki gibi yerleştirilir.

$$F_{ATH} = 0,2 \cdot \frac{F_{AA} + F_y}{4} = 0,05 \cdot (F_{AA} + F_y) \quad (5.31)$$

Araba kasılmasından ileri gelen yatay kuvvetlerin doğurduğu eğilme momenti (M_5) denklem (5.32)’ deki gibi bulunur.

$$M_5 = 0,05 \cdot L_A \cdot (F_{AA} + F_y) \quad (5.32)$$

Araba kasılmasından ileri gelen gerilme bilinen ana büyüklüklerle denklem (5.33)’ deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_5 = \frac{0,05 \cdot L_A}{W_y} \cdot (F_{AA} + F_y) \quad (5.33)$$

$$\sigma_5 = \frac{0,05 \cdot 2000}{7,399 \cdot 10^6} \cdot (29420 + 147100) = 2,4 \text{ N / mm}^2$$

5.2.8 H-Hali için kren kirişindeki maksimum ve minimum gerilmeler

Kren kirişindeki maksimum normal gerilme denklem (5.34)' deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{\max} = k_B \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \psi \cdot \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5) \quad (5.34)$$

$$\sigma_{\max} = 1 \cdot (19,84 + 5,92 + 1,15 \cdot 29,6 + 28,91 + 2,4) = 91,1 N / mm^2$$

Kren kirişindeki minimum normal gerilme denklem (5.35)' deki gibi bulunur.

$$\sigma_{\min} = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (5.35)$$

$$\sigma_{\min} = 19,84 + 5,92 = 25,76 N / mm^2$$

Sınır gerilmeler oranı κ (kapa) denklem (5.36)' da olduğu gibidir.

$$\kappa = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (5.36)$$

$$\kappa = 25,76 / 91,1 = 0,28$$

5.2.9 Kirişteki kayma gerilmesi

Kesme gerilmesi, kesme yükünden, yani arabanın, kaldırma yükünün ve kirişin öz ağırlık kuvvetlerinden ileri gelen gerilmedir. Bu gerilme, denklem (5.37)' de görüldüğü gibi kesme kuvvetinin kirişin kesmeye karşı koyan alanına bölünmesiyle hesaplanır.

$$\tau_k = \frac{F_k}{A_k} \quad (5.36)$$

Kren kirişinde tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesi “ τ_k ” bilinen ana büyüklüklerle aşağıdaki denklemle bulunur (5.37).

$$\tau_k = \frac{\psi \cdot F_y + k_B \cdot F_{AA}}{4 \cdot t_2 \cdot h_2} \quad (5.37)$$

Kren kirişindeki toplam kayma gerilmesi aşağıda belirtilmiştir (5.37).

$$\tau_{\max} = \tau_t + \tau_k \quad (5.37)$$

Toplam kayma gerilmesi en açık haliyle denklem (5.38)' deki gibidir.

$$\tau_{\max} = \frac{(\psi \cdot F_y + k_B \cdot F_{AA})}{4 \cdot t_2} \cdot \left[\frac{X_{s_4} + 0,2 \cdot Y_{s_R}}{(X_{s_2} + X_{s_4}) \cdot (Y_{s_1} + Y_{s_3})} + \frac{1}{h_2} \right] \quad (5.38)$$

$$\tau_{\max} = \frac{(1,15 \cdot 147100 + 1 \cdot 29420)}{4 \cdot 6} \cdot \left[\frac{316 + 0,2 \cdot 1494}{(365 + 316) \cdot (738 + 7)} + \frac{1}{1450} \right]$$

$$\tau_{\max} = 15,72 \text{ N / mm}^2$$

5.2.10 Kren kirişindeki karşılaştırma gerilmesi “ σ_v “

Kren kirişindeki hesaplanan karşılaştırma gerilmesi normal ve kayma gerilmelerinin bir hipoteze göre toplanmasıdır. Burada gerilmeler bir eksenli olarak kabul edilir ve Biçim Değiştirme Enerjisi hipotezine (BDH) göre toplanır (5.39).

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_{\max}^2 + 3 \cdot \tau_{\max}^2)} \quad (5.39)$$

$$\sigma_v = \sqrt{(91,1^2 + 3 \cdot 15,72^2)} = 95,08 \text{ N / mm}^2$$

5.2.11 Malzemenin emniyetli mukavemet değeri “ σ_{EM} “

- Hesaplar için yükleme H-hali kabul edilir.
- Kiriş malzemesi olarak piyasada bol ve kolay bulunan ve nispeten ucuz olan St 37 seçilir.
- Sınır değerler oranı $\kappa=0$ olarak dalgalı yüklenme durumu kabul edilir.
- Çentik grubu olarak K3 grubu alınır.

5.2.11.1 Malzemenin statik değerleri

Çizelge 5.2 : A.37, A.42, A.52 çelikleri için emniyet gerilme değerleri

Çelikler	Akma Gerilmesi $\sigma_a \text{ (N / mm}^2\text{)}$	Mak. Emniyet Gerilmesi: σ_E		
		1. Durum	2. Durum	3. Durum
		N / mm^2	N / mm^2	N / mm^2
E.24 (A.37, Fe 360)	240	160	180	215
E.26 (A.42)	260	175	195	240
E.36 (A.52, Fe 510)	360	240	270	325

Yükleme halia H ve malzeme St 37 için Çizelge 6.2’ den $\sigma_{\zeta em}=160\text{N/mm}^2$ alınır.

Kren kirişindeki karşılaştırma gerilmesi: $\sigma_v = \sqrt{(91,1^2 + 3 \cdot 15,72^2)} = 95,08 \text{ N / mm}^2$

$$\sigma_v=95,08\text{N/mm}^2 < \sigma_{\zeta em}=160\text{N/mm}^2$$

olduğundan kren kirişindeki maksimum gerilmenin malzemenin emniyetli çekme mukavemeti değerinden küçük olduğu görülüyor. Statik kontrol uygun sonuç vermektedir.

5.2.11.2 Malzemenin dinamik değerleri

Sürekli dinamik emniyetli çekme gerilmesi denklem (5.40)' daki gibi bulunur. Formül' deki çentik etkisindeki malzemenin devamlı mukavemet değeri $\kappa = -1$ olarak alınır. Çünkü, bu yükleme durumlarının en kritik olanı tam değişken yüklemedir.

$$\sigma_{Dc(\kappa)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{Dc(-1)EM}}{1 - \left[1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{Dc(-1)EM}}{0,75 \cdot R_m} \right] \cdot \kappa} \quad (5.40)$$

$$\sigma_{Dc(\kappa)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{127}{1 - \left[1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{127}{0,75 \cdot 340} \right] \cdot (-1)} = 180,9 \text{ N / mm}^2$$

6. SONLU ELEMANLAR METODU

Çözülmesi uzun zaman alan karmaşık problemlerin, daha basit ve kısa zamanda çözmek için bu problemlere eşdeğer ancak daha basit hale getirilmiş problemlerin çözüme gidilmesi sonlu elemanlar metodunun temelindeki fikirdir. Genellikle, basitleştirmeye gidilmesi sonucunda doğru sonuç yerine, yaklaşık bir sonuç bulunmaktadır. Günümüzde, sonlu elemanlar metodların bilgisayarlarda uygulanması sonucunda hemen her problem istenilen ölçüler arasında yaklaşık sonuçlar elde edilmektedir.

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesinin çok sayıda sonlu ve birbirine bağlı elemanlardan oluşmaktadır. Çözüme gidilirken, sonlu elemanların hepsi çeşitli teoriler kullanılarak, sınır koşul ve denge denklemlerin tanımlanmasıyla yaklaşık sonuçlar bulunmaktadır [1].

6.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Kısa Tarihi

Günümüzde sonlu elemanlar metodu olarak bilinen çözüm metodlarının arkasında bulunan temel fikirler yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Örneğin, yüzyıllar öncesinde bilim adamları çemberin çevre uzunluğunu bulmak için çemberin etrafından poligonlar çizerek bulmaktaydılar. Köşe sayısı arttırılan poligon, sonuca daha fazla yaklaştırmaktaydı.

Yakın tarihimizde, sonlu elemanlar metoduna benzer bir yöntem Courant tarafından 1943' te ilk kez ortaya atılmıştır. Bu yöntemde, üçgensel bölgeler üzerinde parçasal sürekli fonksiyonlar tanımlanmaktadır.

Günümüzde bilinen sonlu elemanlar metodu ise, 1956 yılında Turner, Clough, Martin ve Top tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada, perçin bağlantılı profil ve üçgensel iç gerilmeli tabaka şeklindeki sonlu elemanların bir uçağın analizinde kullanımı ele alınmıştır.

Çağımızın en büyük teknolojik gelişme olarak bilinen bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, bu yöntemde çok büyük katkı sağlamıştır. Günümüzün bilgisayarları,

özölmesi aylar bulunan problemleri, en kısa zamanda çözmekte ve gerçek sonuçlara çok yakın yaklaşık sonuçlar verebilmekteler.

6.2 Uygulama Alanları

Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları özdeğer (eigenvalue), denge ve yayılma problemleridir. Kısaca yukarıda bahsi geçen alanların kısaca tarifleri aşağıda açıklanmıştır.

Denge problemlerinin bir uzantısı olan özdeğer (eigenvalue) grubuna giren problemler arasında yapıların stabilitesi ve titreşimleri, lineer viskoelastik sönümleme, burkulma, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması gibi problemler en çok bilinenleridir.

Kararlı hal problemleri olarak bilinen denge problemlere makine ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda kararlı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri gibi problemler örnek verilebilir.

Yayılma problemleri ise zamana bağlı olan problem grubuna giren problemler arasında yapılarda gerilme dalgaları, yapıların darbelere karşı davranışı, viskoelastik problemler, zeminlerden suyun geçişi, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akış problemleri örnek verilebilir.

Mühendislik açısından sonlu elemanlar metodunun en geniş uygulama alanı gerilme analizi problemidir. Gerilme analizi problemlerinde yer değişim, kuvvet ve karma yöntem gibi üç yaklaşım dikkate alınmaktadır.

Yer değişim yönteminde yer değişimler, dönmeler ve deformasyonlar; kuvvet yöntemi yaklaşımında kuvvetler ve gerilmeler; karma yönteminde ise bilinmeyen veya serbest değişkenler işlenmektedir [3].

6.3 Problemlerde Uygulanması

Elastik ve sürekli ortamlara SEM' in uygulanmasında yapının parçalara ayrılması, uygun bir interpolasyon seçimi, rijitlik matrislerinin ve yük vektörlerin, eleman denklemlerinin birleştirilmesiyle toplam denge denklemlerin elde edilmesi, bilinmeyen düğümsel (nodal) yer değişimleri için çözüm yöntemlerinin kullanılması ve sonuçların bulunması adımları uygulanır.

6.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi Eleman Tipleri

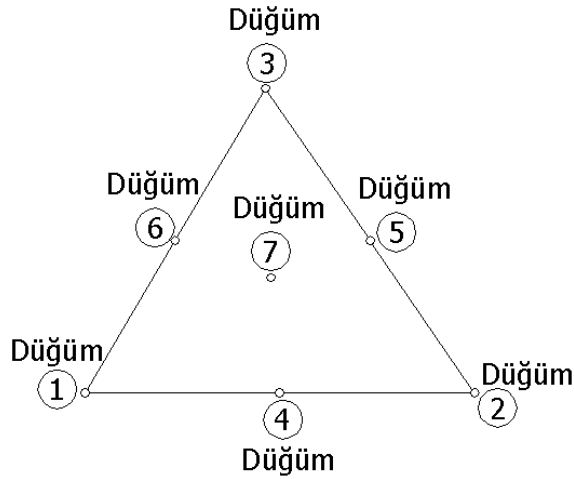
Analizi yapılacak bir parçada doğru sonuçlar alınabilmesi için en uygun bir şekilde sonlu elemanlara bölünmelidir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun elemanın şekli seçilmelidir. Seçilen sonlu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilirler. Genelde, sonlu elemanın sınırları düzgün olarak seçilebilir ya da, bazı durumlarda eğri sınırlı elemanlarında kullanılması gerekebilir [2].

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bir bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa, Şekil 6.1’ de örneği verilen bir boyutlu sonlu elemanlar tercih edilir [2].



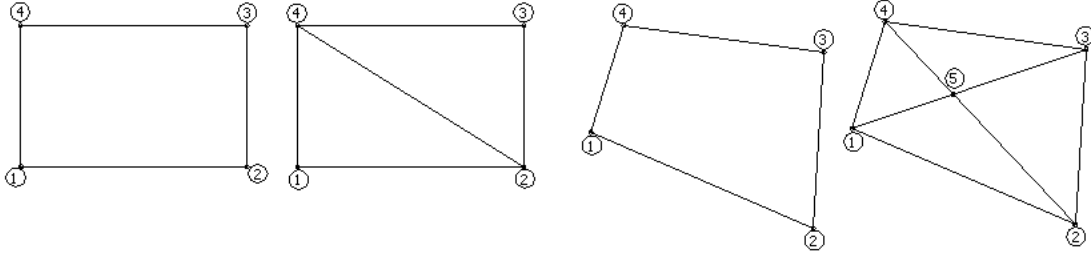
Şekil 6.1 : Bir boyutlu bir sonlu eleman

Birçok problem, yaklaşık olarak, iki boyutlu sonlu elemanlarla çözülebilir. İki boyutlu eleman tipleri arasında en basiti Şekil 6.2’ de görülen üçgen tipi sonlu elemandır.



Şekil 6.2 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği

Birçok problemlerde iki boyutlu dikdörtgen, iki üçgenli dikdörtgen, dörtgen elemanı ve dört üçgenli dörtgen elemanı tipi sonlu elemanlar da kullanılmaktadır. Şekil 6.3’te yukarıda bahsi geçen değişik iki boyutlu dörtgen sonlu eleman tiplerine örnekler soldan sağa doğru verilmiştir.



Şekil 6.3 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar

6.5 SAP 2000 Sonlu Elemanlar Paket Programı

6.5.1 Yapısal Analiz

SAP2000, grafik kullanıcı ara yüzü kullanarak tanımlamış olduğunuz modele göre yapınızın analiz ve boyutlamasını yapar. Model sizin yapınızı temsil edecek aşağıdaki belli başlı birimlerden oluşur [7]:

- Birimler,
- Nesneler,
- Gruplar,
- Koordinat sistemleri ve gridler,
- Özellikler,
- Yük durumları,
- Fonksiyonlar,
- Analiz durumları,
- Kombinezonlar,
- Boyutlama seçenekleri,
- Çıktı ve görüntü seçenekleri tanımlama,

6.5.1.1 Birimler

SAP2000 dört temel birimle çalışır ki bunlar; kuvvet, uzunluk, ısı ve zamandır. Programımız “Kip, inç, F” veya “N, mm, C” gibi çok sayıda birbiriyle uyumlu kuvvet, uzunluk ve ısı birim setleri içerir. SAP2000 de “zaman”, sünme, rötne ve yaşlanma etkileri hariç ki bunlar gün birimleriyle ölçülürler, hep saniyelerle ölçülür.

Kütle ile ağırlık arasında da ciddi bir ayrım yapılır. Kütle sadece dinamik atalet ile yer ivmelerinden kaynaklanan yüklemelerin hesaplanmasında kullanılır. Ağırlık da diğer kuvvet yüklemeleri gibi dışarıdan uygulanan bir kuvvettir. Ağırlık değerlerini tanımlarken kuvvet birimlerini ve kütleyi tanımlarken ise kütle birimlerini (kuvvet- $\text{sn}^2/\text{uzunluk}$) kullandığınızdan emin olun.

Yeni bir modele başladığınızda, SAP2000 size hangi birimle çalışmak istediğinizi sorar. Bu birimler modeliniz için “esas birimler” olur. Hernekadar veri ve çıktı verileri her hangi farklı bir birim sisteminde sağlanabilse de bunlar program tarafından hep modelin esas birim sistemine dönüştürülürler.

Açısal ölçüler hep aşağıdaki birimleri kullanır;

- Geometri, mesela eksen konumu, her zaman derece ile ölçülür.
- Dönel deplasmanlar hep radyanla ölçülür.
- Frekans her zaman devir/sn (Hz) ile ölçülür.

6.5.1.2 Nesneler ve Elemanlar

Model içerisindeki fiziksel yapı elemanları nesnelerle temsil edilirler. Bir nesnenin şeklini çizmek için “çizim” ara yüzünü kullanılır, ardından bu fiziksel nesne modelini tanımlamak için atama menüleri kullanılarak bu nesneye özellikler ve yüklemeler atanır.

6.5.1.3 Gruplar

Grup isimlendirilmiş bir nesne topluluğuna verilen addır. Bir grup farklı tip ve sayıda nesneler içerebilir. Bu grupların aşağıdaki gibi birçok kullanım alanı vardır:

- Değişiklik ve atama işlemleri için nesnelerin kolayca seçilmesi;
- Aşamalı inşaat sürecinin tanımlanması,
- Model üzerinde çoklu kesitlerin tanımlanması;
- Aynı şekilde boyutlandırılacak nesnelerin gruplanması;
- Seçimli çıktı alınabilmesi;

Model içerisinde istendiği kadar çok grup tanımlanabilir. Gruplama özelliği çok büyük modellerin idare edilebilmesinde oldukça etkin araçtır.

6.5.1.4 Koordinat Sistemleri ve Gridler

Modeldeki bütün konumlar bir tek global (asal) koordinat sistemine göre eksiksiz olarak tanımlanır. Bu da üç boyutlu, sağ el kuralına uygun, karesel koordinat sistemidir. Üç eksen, X, Y ve Z birbirlerine göre dik ve sağ el kuralına uygundur.

SAP2000 global +Z yönünü yukarı –Z yönünü de aşağı yön kabul eder. Yerçekimsel etkiler program tarafından –Z yönünde kabul edilir.

Modelinizi geliştirmesine ve görüntülemesine yardımcı olması için ek koordinat sistemleri tanımlayabilirsiniz. Bu sistemler bir orijin noktası ve global eksene göre kıyaslanmış açılardan oluşur.

Her bir koordinat sistemi için (global ve tüm diğer ilave edilmiş sistemler dahil) nesnelerin model içerisindeki konumunu belirlemek için kullanılan kesişen “konstrüksiyon” çizgilerinden oluşmuş üç boyutlu grid sistemleri tanımlayabilirsiniz. Her bir grid kartezyen (dikdörtgen) veya silindirik veya genel tipte olabilir.

Çizim operasyonları “kenetleme” özelliği kapatılmadığı müddetçe eksen çizgilerini yakalama eğilimindedirler. Bu kenetleme seçeneği modelin doğru çizilmesini kolaylaştırır. Bir grid çizgisi kaydırıldığında model içerisindeki bir noktanın da onunla beraber kaydırılması olarak tanımlanabilir.

Modeldeki her nesne (nokta, çizgi, alan vb.) bunlara ait özellikleri, yükleri ve tepkileri tanımlamak için kendi yerel koordinat sistemine sahiptir. Yerel koordinatların eksenleri 1, 2 ve 3 olarak adlandırılır. Yerel koordinat sistemlerinin kendilerine ait bir grid sistemleri yoktur.

6.5.1.5 Özellikler (Kesit Değerleri)

Bir nesnenin model içerisindeki yapısal davranışını belirlemek için bu nesneye özellikler “atanır”.

Bu özelliklerden bazıları, mesela malzeme ve kesit özellikleri, isimlendirilmiş şeyler olup bir nesneye atanmadan önce tanımlanmaları gerekir.

6.5.1.6 Yük Durumları

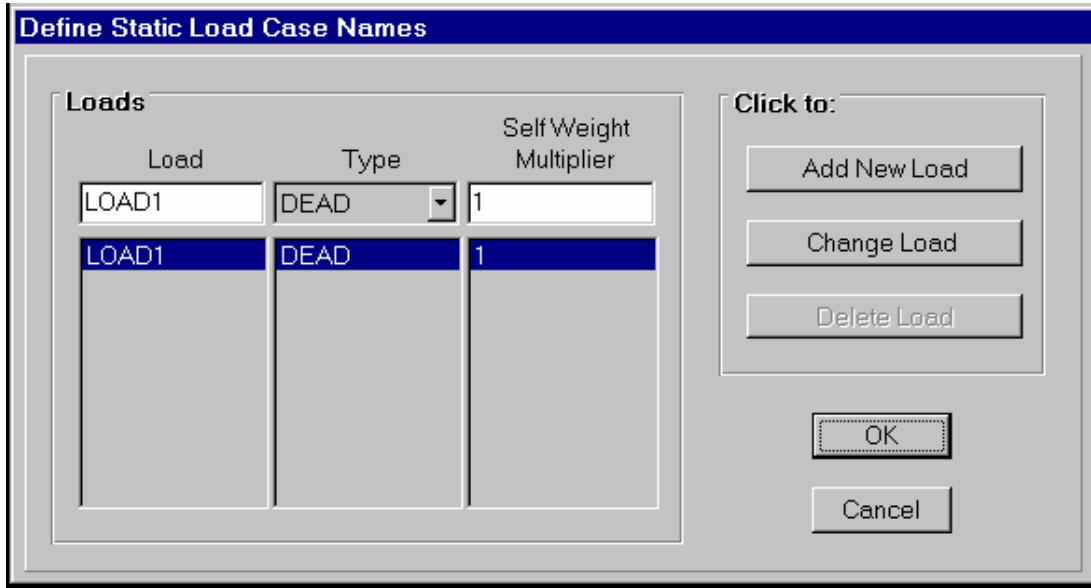
Yüklemeler, yapı üzerindeki kuvvet, basıncı, mesnet yer değiştirmesi, ısı etkiler, zemin ivmesi ve buna benzer etkilerin bir ifadesidir. Yüklerin yapı üzerindeki üç boyutlu uzaysal dağılımını yükleme durumu olarak ifade edilir.

İsteğe bağlı olarak sınırsız sayıda yük durumu tanımlanabilir. Genelde hareketsiz yk, hareketli yük, rüzgar yükü, kar yükü, ısı genleşme yükleri ve diğer yük türlerinin her biri için ayrı yük durumları tarif edilir. Uygulama şekillerinden kaynaklanan farklar veya boyutlama amacındaki farklılıklardan dolayı bağımsız olarak değişkenlik gösteren yükler için farklı yük durumları tarif edilmelidir.

Bir yük durumunu tarif ettikten sonra, nesnelere bu yük durumuna bağlı belirli yük değerleri girin. Bir nesneye atanan yük değeri aynı zamanda bu yüklemenin yk tipini (kuvvet mi, yer değiştirme mi, ısı mı olduğunu), şiddetini ve yönünü (eğer uygulanabilirse) tanımlarlar. Farklı nesnelere tek bir yükleme durumuna ait farklı yükler atanabilir. Her bir nesneye birbirinden farklı birden fazla yük durumuna ait yüklemeler yapılabilir. şekil 6.4' de statik yük durumlarını tanımlama penceresi gösterilmektedir.

Örneğin WIND, SNOW ve SUN15 olarak tarif edilmiş yük durumları olsun. WIND yükleme yapınnın birbirine zıt iki cephesindeki düşey nesnelere emme ve basınç değerleri olarak ayrı ayrı girilebilir. SNOW yükleme durumu sadece çatı nesnelere düşey yönde yk atanabilir. SUN15 yükleme durumunda öğleden sonra saat 3:00 te güneşin etkilerini dikkate almak için yapı içindeki farklı nesnelere farklı sıcaklık değerleri atanabilir.

Yapının herhangi bir yükleme durumuna tepkisini hesaplamak için analiz durumu tanımlanıp, çalıştırılmalıdır. Bu aşamada yükleme durumunun nasıl uygulanacağı (statik mi yoksa dinamik mi ?), yapının nasıl analiz edileceği (doğrusal olarak mı? doğrusal olmadığı kabul edilerek mi?) de tariflenir. Aynı yükleme durumu farklı analiz seçeneklerinde farklı şekillerde uygulanabilir.



Şekil 6.4: Statik yük durumlarını belirleme penceresi

Yukarıdaki kullanıcı tanımlı yük durumlarının yanı sıra SAP2000 de aynı zamanda üç adet yerinde oluşturulmuş ivme yüklemesi tanımlanabilir ki bunlardan her biri global yönlerin her birindeki birim zemin öteleme ivmesini temsil eder. Bu yükleme yapı içerisinde kütlesi olan her şeye otomatik olarak etki eder.

6.5.1.7 Fonksiyonlar

Yüklemelerin zamanın veya periyodun bir fonksiyonu olarak değiştiği durumların tarifi için programda fonksiyon tanımlama seçenekleri mevcuttur. Bu fonksiyonlar belirli bazı analiz seçeneklerinde kullanılır; örneğin statik analiz için kullanılmazlar. Bu fonksiyonlar sayılara dönüştürülmüş bir seri absis-ordinat veri çiftidir.

İhtiyaca göre istenen sayıda isimlendirilmiş fonksiyon tanımlanabilir. Fonksiyonlar nesnelere atanmazlar, ancak analiz durumların tanımlanmasında kullanılırlar.

6.5.1.8 Analiz Durumları

Bir analiz durumu, bir yüklemenin yapıya nasıl etki ettirileceğini ve yapısal tepkinin nasıl hesaplanacağı konusunu belirler. Bir çok analiz durumu mevcuttur. Analiz tipleri kabaca yapının yüklemeye verdiği tepkiye bağlı olarak lineer veya non-lineer olarak sınıflandırılırlar.

Lineer analiz sonuçları süperpose edilebilirler yani; analiz sonrasında üst üste eklenebilirler. Aşağıdaki analiz tipleri mevcuttur:

- Statik;
- Modal Analiz;
- Tepki Spektrumu Analizi;
- Zaman Alanında Hesap;
- Burkulma / Buruşma Analizi;
- Yük Katarı (Moving load) Analizi;
- Düzenli Durağan Analiz;
- Güç-Spektrum-Yoğunluğu Analiz;

Non-linear analiz sonuçları normal superpoze edilmezler. Onun yerine yapı üzerine beraberce etkiyen yükler analiz durumlarında doğrudan kombine edilmelidirler.

Karmaşık yükleme silsilesini ifade etmek için non-linear analiz durumları ardı ardına eklenebilirler. Aşağıdaki non-linear analiz tipleri programda mevcuttur.

- Nonlinear Statik;
- Nonlinear Aşamalı İnşaat;
- Nonlinear Zaman Alanında Hesap durumları;

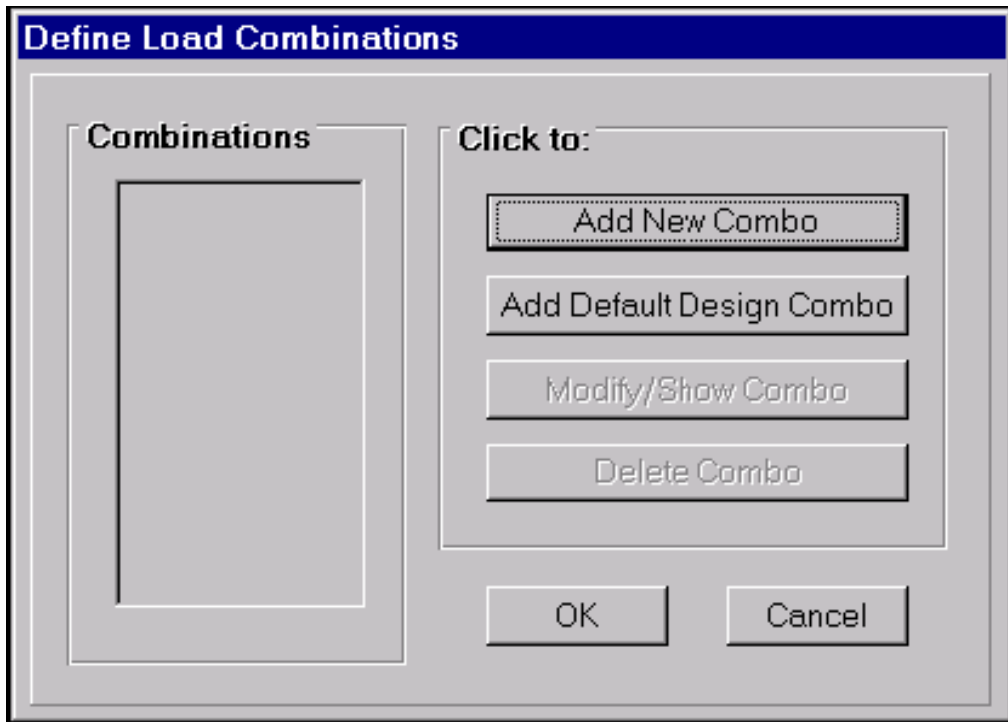
Herhangi bir tipte ve istenen sayıda isimlendirilmiş analiz durumu oluşturulabilir. Model analiz edildikten sonra, çalıştırılacak durumlar seçilmelidir. Herhangi bir analiz durumundan elde edilen veriler istendiğinde silinebilir.

Analiz durumları modelin bir parçası olarak kabul edilebilirler. Dizayn aşamasında kullanılırlar.

6.5.1.9 Kombinezonlar

Bir SAP2000 kombinezonu ki “combo” olarak da isimlendirilir, bir veya birden fazla analiz durumundan veya diğer kombinezonlardan elde edilen sonuçların isimli kombinezonudur. Tanımlanan bir kombinezon, elde edilen sonuçları model içerisindeki her nesneye uygular. Şekil 6.5’ de yük kombinasyonlarını tanımlamayan pencere gösterilmektedir.

Dizayn doğrudan analiz durumlarına değil, her zaman kombinezonlara bağlı yapılır. Tek bir analiz durumu içeren kombinezonlar oluşturulabilir. Her bir dizayn algoritması kendi önceden tanımlı kombinezon grubunu oluşturur. Dizayn veya başka amaçlarla ilave kombinezonlar oluşturulabilir.



Şekil 6.5: Yük kombinasyon tanımlama penceresi

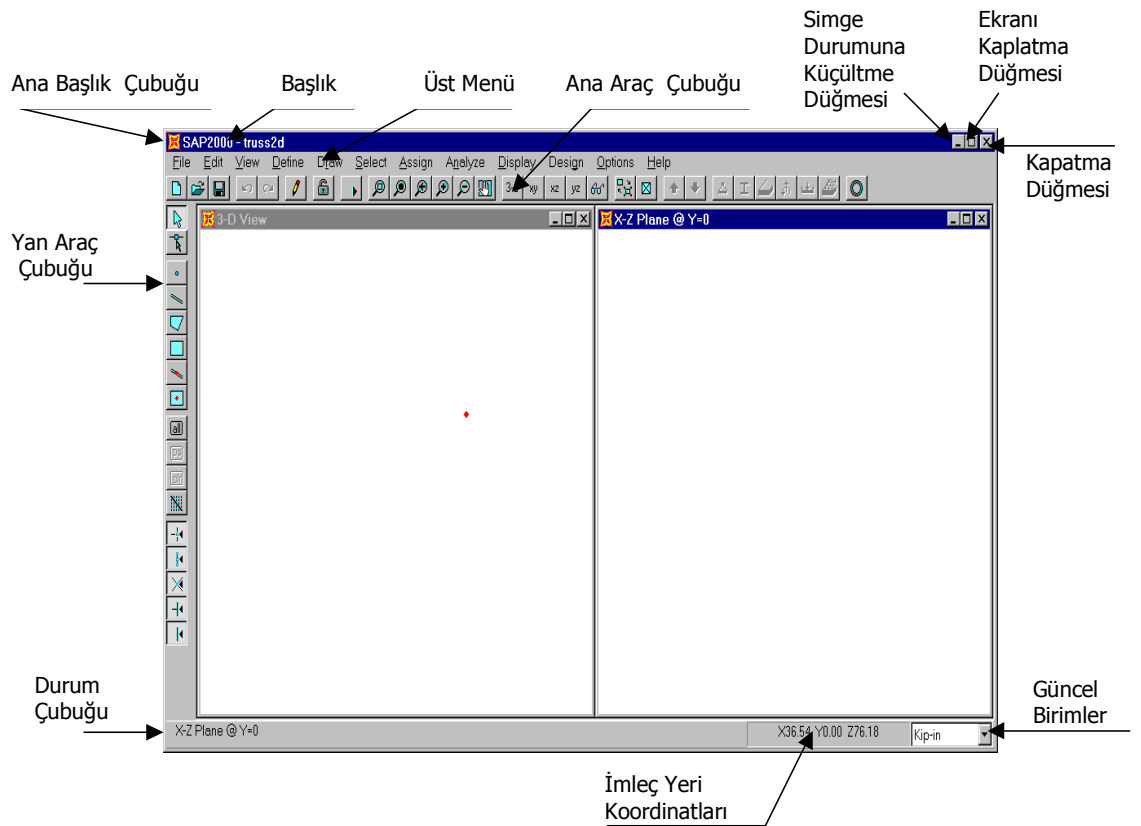
6.5.2 Grafik Kullanıcı Arayüzü

SAP2000 grafik kullanıcı arayüzü yapınızı modellemeye, analiz etmeye, dizayn yapmaya ve yapınızın sonuç çıktılarını görüntülemeye yarar.

6.5.2.1 SAP 2000 Ekranı

Programı başlattıktan hemen sonra SAP2000 grafiksel kullanıcı ara yüzü ekranınızda belirir.

Ana pencere: Şekil 6.6 grafiksel kullanıcı ara yüzünün ana penceresini göstermektedir. Bu pencere standart windows işlemlerini kullanarak taşınabilir, yeniden boyutlandırılabilir, büyütülebilir, simge durumuna küçültülebilir veya kapatılabilir. Pencerenin tepesindeki ana başlık çubuğu ise programın adını ve model dosyasının adını gösterir.



Şekil 6.6: Grafik Kullanıcı Arayüzünün Ana Penceresi

Menü çubuğu: Menü çubuğundaki komutlar SAP2000 ile yapabileceğiniz tüm işlemleri içerir. Bu işlemlere menü komutları veya kısaca komutlar denir. Her bir menü temel bir işleme karşılık gelir.

6.5.2.2 Çizim

Çizim esas olarak modele yeni nesneler eklemek veya bir nesneyi değiştirmek için kullanılır. Çizilebilen nesneler noktalardan (düğüm noktaları ve zemin bağlantıları), çizgilerden (çubuk nesneleri, kablolar, tendonlar ve bağlantı nesneleri) ve alan nesnelerinden (kabuklar, düzlemler, asolidler) dan ibaret olabilir. Katılar (solid) çizilmezler ancak şişirme tekniği mevcut bir nesneden oluşturulurlar, şişirme (extrusion) tekniği hakkında daha fazla bilgi için ilerideki “Düzenleme” başlıklı konuyu inceleyin.

Düğüm noktaları bir çizginin ve bağlantı nesnesinin iki ucunda ve bir alan ve katı nesnesinin köşelerinde kendiliğinden oluşturulur. İlave düğüm noktaları modele dışarıdan eklenebilir. Aynı konuma denk gelecek nokta veya nesnelerden biri program tarafından otomatik olarak iptal edilir, ancak seçeneğe bağlı olarak bağlantı nesnelerinin aynı konuma denk gelmesine müsaade edilir.

Çizmek için, Çizim menüsündeki nesne çizim düğmelerinden birine tıklayarak çizim modunu aktif hale getirin. Çizim yaptığınız süre boyunca görüntü ekranında çizdiğiniz nesnenin çizim ve nesne özelliklerini değiştirebilmenize olanak sağlayacak bir de yüzer form belirir. Çizim yaparken bu formu hareket ettirip derseniz de kapatabilirsiniz.

Seçim ve çizim modları seçildikleri anda biri diğerini devre dışı bırakır. Seçmek için, “ Draw menüsü >Set Select ” Mode komutunu kullanarak veya seçim menüsünden herhangi bir işlemi seçerek “seçim modu”nu aktif hale getirin. Çizim hariç diğer tüm operasyonlar seçim modu aktif haldeyken kullanılabilir.

6.5.2.3 Düzenleme

Editing (Düzenleme) modelde değişiklikler yapmak için kullanılır. Çoğu düzenleme işlemi seçmiş olduğunuz bir veya daha fazla nesnenin üzerinde uygulanır.

Modele ekleme veya yapıştırma işlemleri nesnelerin seçilmesiyle yapılmaz. İnteraktif tablo değiştirme ve marka düzenlemesi seçim veya tüm model üzerinde çalışır. Diğer bütün işlemler nesnelerin daha önce seçilmesini gerektirir.

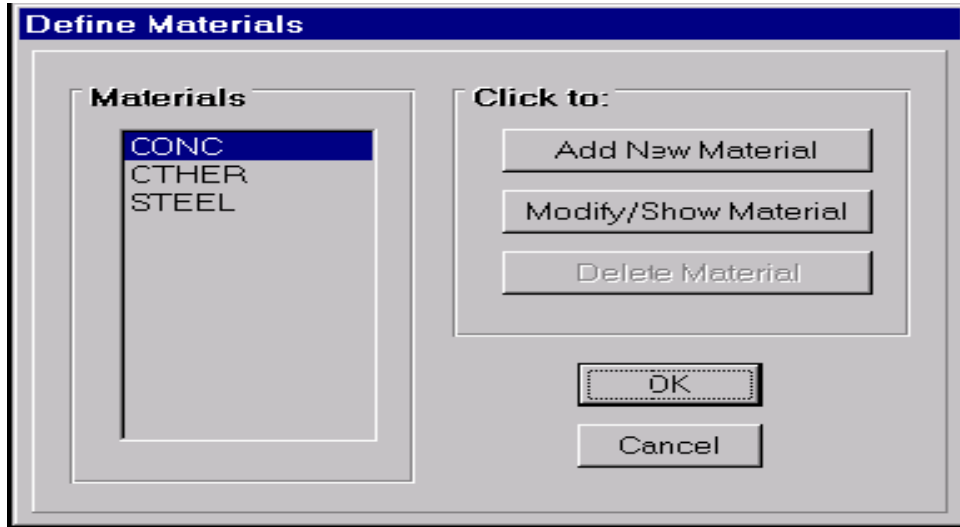
6.5.2.4 Atama

Atama özellikleri ve yükleri, seçmiş olduğunuz nesne veya nesnelere uygulamak için kullanılır. Atama işlemleri atama menüsünden seçilirler ve bunlar:

- Düğüm noktalarına, mesnetler, sınır şartları, yaylar, kütleler ve yerel koordinat eksenleri atamak;
- Çubuk/Kablo/Tendon nesnelere kesit değerleri, uç serbestlikleri, yerel koordinat sistemleri, end offsetleri, saplama noktaları, çıktı adresleri, içsel öngerilme paternleri, halat özellikleri, nonlinear özellikler, otomatik bölümlendirme parametreleri ve fazlası;
- Alan nesnelere özellikler atamak; kesit özellikleri, yerel koordinat sistemleri, alan yayları ve kütleler, otomatik bölümlendirme seçeneği ve fazlası;
- Katı nesnelere özellikler atamak; kesit özellikleri, yerel koordinat sistemleri, alan yayları, otomatik bölümlendirme seçeneği ve fazlası;
- Bağlantı (link) nesnelere özelliklerini ve yerel koordinat sistemlerini atamak;
- Her bir nesneye farklı bir çok yük cinsi atamak;
- Düğüm noktalarına ısı ve basınç yüklerini tanımlayacak örnek değerler atamak;
- İlerideki seçme işlemlerine yardımcı olması için nesneleri gruplandırmak ve adlandırılmış gruplara yeni nesneler eklemek;
- Seçili bir nesneye atanmış değerleri kopyalayarak, bir başka işlemde, aynı tip bir veya birden fazla nesneye bu atamaları yapıştırmak;

6.5.2.5 Tanımlama

Tanımlama (Define) malzeme tanımlama, katı model özelliklerini belirleme, grup oluşturma gibi işlemleri yapmamızı sağlayan bir bölümdür. Şekil 6.7' de malzeme belirleme penceresi gösterilmektedir.



Şekil 6.7: Malzeme belirleme penceresi

6.5.2.6 Analiz

Yukarıdaki işlemleri kullanarak tam bir model oluşturduktan sonra, analiz durumlarından uygulanan yüklemelerin etkisi altında meydana gelen sonuç deplasmanlarını, gerilmeleri ve reaksiyonları hesaplamak için analiz yapılabilir.

Analizden önce, analiz menüsünden analiz seçeneklerini ayarlanır. Bu seçenekler:

- Analiz için programdaki serbestlik derecelerinin ayarlanması ki bu genellikle yapının düzlem çerçeve gibi davranmasını sağlamak için kısıtlamalar getirmeye yarar.
- Model tanımlamalarının ve analiz sonuçlarının, SAP2000 tablosal biçimiyle Access veritabanı dosyası oluşturmak için otomatik olarak kaydedilip edilmeyeceğini ayarlarsınız.

Analizi başlatmak için, Analyze menüsünden Run (çalıştır) kullanılır ve hangi durumların çalıştırılmasını isteniyorsa buradan seçilir. Daha önce çalıştırılmış analiz durumlarının tekrara çalıştırılmasına gerek yoktur. Çalıştırılmamış durumlar daha sonra çalıştırılabilir.

Eğer analiz durumlarından herhangi biri çalışabilmek için seçilmiş durumlardan herhangi birinin sonuçlarına gereksinim duyacaksa ve bu durum henüz çalıştırılmamışsa ilk olarak gereken analiz çalıştırılır. Örneğin eğer tepki spektrum analizi çalıştırılacaksa, gerekiyorsa modları tanımlayan durumlar da çalıştırılacaktır.

SAP2000 çalıştırılmadan önce modeli kaydeder. Kontrol ve analiz işlemleri sırasında, ekrandan analiz motorunu izleyebilirsiniz. Analiz tamamlandığında, ekrandaki kaydırma çubuğunu kullanarak mesajları inceleyebilirsiniz. Mesajları incelemeyi bitirdikten sonra Tamam tuşuna tıklayarak pencereyi kapatabilirsiniz. Bu mesajlar aynı zamanda .log uzantılı bir dosya olarak kaydedilir ve daha sonra istendiğinde “ File menüsü > Show Input/Output Text Files “ komutuyla ulaşıp incelenebilir.

Analiz devam ederken ve işlem penceresi ekrandayken başka hiçbir SAP2000 işlemini yapamazsınız. Fakat, başka Windows programlarını çalıştırabilirsiniz.

6.5.2.7 Görüntüleme

Görüntüleme, modeli ve analiz sonuçlarını görmek için kullanılır. Grafiksel görüntüleme, tablosal görüntüleme ve fonksiyon çizimleri mevcuttur. Tüm görüntüleme tipleri görüntü (display) menüsünden seçilebilir, sadece boyutlama sonuçlarının görüntülenmesi boyutlama (design) menüsünden yapılır.

Grafiksel görüntüleme: Her bir görüntü penceresi için değişik bir grafiksel görüntüleme çeşidi seçebilirsiniz. Her pencere kendi yerleşim ve görüntü seçeneklerine sahip olabilir.

Model tanımlarını görüntüleme: Modelin geometrisini “ Display menüsü > Show Undeformed Shape ” komutunu kullanarak izleyebilirsiniz. Bu işlem sadece nesneleri ve “ View menüsü > Set Display Options “ kullanılarak seçilmiş atamaları gösterir. Nesnelere yapılan diğer tüm atamalar “ Display menüsü> Show Load Assigns “ ve “ Display menu> Show Misc Assigns “ komutları kullanılarak görüntülenebilir.

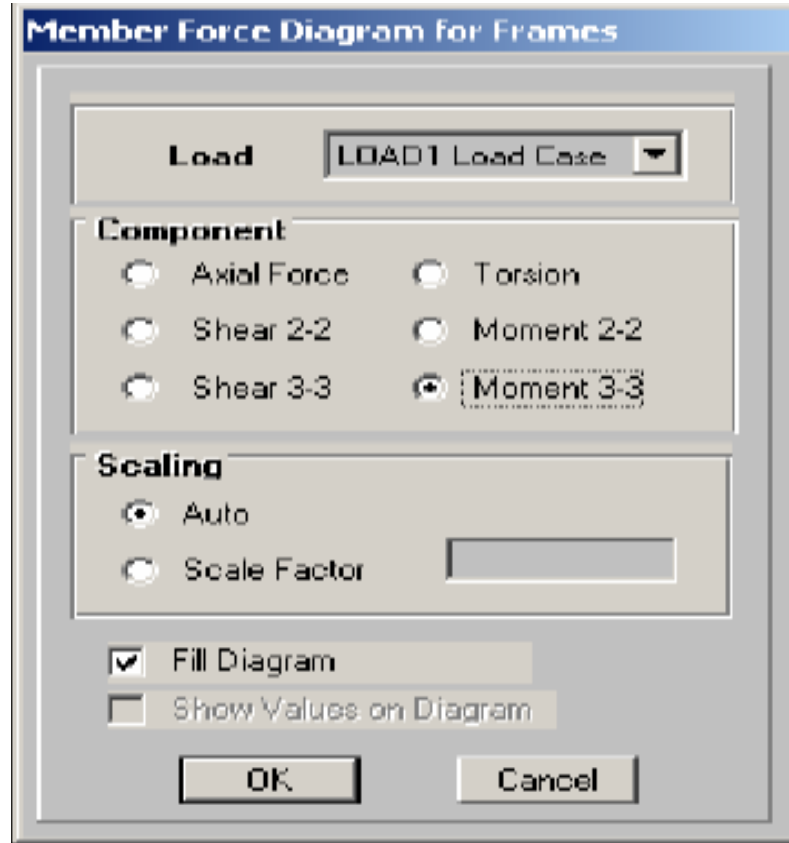
Modelin şekil değiştirmemiş görüntüsünü atamalar ile beraber veya onlarsız izlerken düğüm noktasına veya nesneye farenin sağ tuşu ile tıklarsanız ekranda bu nesneye ait geometri, bağlantı kriterleri, atamalar ile yüklere ait sonuçların detaylı bilgilerinin bulunduğu bir form belirir.

Analiz sonuçlarını görüntüleme: Çalıştırılmış her bir durum için Analiz sonuçları grafiksel olarak görüntülenebilir. Şekil 6.8’ de istediğimiz analiz sonuçlarını seçme tablosu gösterilmektedir. Hangi görüntülerin izlenebileceği aşağıda verilmiştir:

- Şekil değiştirmiş yapı;
- Düğüm noktalarına ait yay veya reaksiyon yükleri;
- Çubuk/Kablo/Bağlantılara ait kuvvet ve moment diyagramları;
- Kabuk elemanlarındaki kuvvet ve momentten kaynaklanan stres sonuçlarının kontur çizgileriyle gösterimi;
- Kabuk elemanları, düzlemler, asolidler ve katılara ait gerilme konturlarının gösterimi;
- Betonarme kabuklar için boyutlama gerilmeleri;
- Deplasmanlar, reaksiyonlar, yay kuvvetleri ve çubuk/kablo kuvvetleri ve momentlerinin oluşturduğu etki alanı çizgileri;
- Tüm nesne tipleri için virtüel iş grafiğinin gösterilmesi;

Şekil değiştirmiş model durum çubuğundaki kontrol araçları ile oynatılabilirler. Şekil değiştirmiş yapının oynatılması kullanıcının yapını davranışını daha iyi anlamasını sağlar.

Birkaç sonucu olan analiz durumları için (çok adımlı veya çok modlu) her bir sonucu adım adım incelemek için durum çubuğu üzerindeki kontrol imleci işaretlerini kullanabilirsiniz. Çoklu adımlarda en küçük ile en büyük değerleri basmanıza yarayacak bir seçenek de mevcuttur.



Şekil 6.8: Analiz sonuçlarını seçme penceresi

Fonksiyonların çizimlerini görüntüleme: Fonksiyon çizimleri, bir değişkenin diğerine göre grafikleridir. Bunlar;

- Tepki spektrumu eğrileri–bu eğriler yapının herhangi bir düğüm noktası için zaman alanı analiz durumu sonuçları esas alınarak üretilebilirler.
- Fonksiyon çizim izleri – bunlar herhangi bir sayıda yapı tepki niceliklerinin (yer değiştirme, gerilme v.b.) zamana karşı veya başka bir yapı tepki niceliğine karşı çizilen genel grafikleridir. Bunlar herhangi bir zaman alanı durumu veya çoklu-adımlı nonlinear statik durum için mevcuttur.
- Statik-itme analizi – bu fonksiyon tekil bir deplasman ölçümünün çok adımlı, deplasman kontrollü, nonlinear statik analiz durumundan elde edilen zemin tepki reaksiyon değerlerine karşı çizilen fonksiyondur.

Fonksiyon çizimleri özel bir çizim penceresinde görüntülenebilir ve bastırılabilir. Bu çizimlere ait değerler tablosu bastırılabilir veya dosya olarak kaydedilebilir.

Tablosal görüntüleme: Görüntüleme menüsündeki komutları kullanarak model tanımlamaları, analiz sonuçları ve dizayn (boyutlama) sonuçlarını tablo biçiminde görüntüleyebilirsiniz. Görüntülenecek tabloları seçin. Eğer seçilmiş düğüm noktaları ve nesneler varsa tablosal bilgiler sadece bu seçilenler için oluşturulur, yoksa bütün model için tablolar üretilir.

Bu tabloların biçimlerini kontrol edebileceğiniz, sadece belirtilen kriterleri sağlayan verileri görüntülemenizi sağlayan filtreler yaratmak gibi gelişkin biçimlendirme seçenekleri mevcuttur. Örneğin bunlardan biri, dizayn gerilme oranlarının 0.9 un üstünde olduğu elemanların gösterilmesidir.

Bu tablosal veriler ekran metin penceresinden export edilebildiği gibi çıktı da alınabilir, ya da dosya menüsünden tablo biçimleri ile ilgili mevcut komutlar kullanılarak yapılır.

6.5.2.8 Boyutlama (Dizayn)

“Boyutlama” betonarme, çelik, soğuk çekme çelik ve alüminyum malzemedan çubuk nesnelerinin değişik boyutlama yönetmeliklerine göre kontrol edilmesi için kullanılır. Boyutlama, yapı analiz edildikten sonra uygulanabilir. Görüntüleme dahil, boyutlama işlemlerinin çoğu boyutlama (design) menüsünde mevcuttur.

Çelik, soğuk çekme çelik ve alüminyum malzemedan çubuk/halat nesneleri kullanıcı tarifli bir otomatik seçim listesinden ağırlıkça en hafifi olacak şekilde seçilebilir. Betonarme çubuk nesneleri ise seçilen dizayn koduna göre otomatik olarak belirlenmiş boyuna donatı alanı ve kesme donatısı alanına sahip olabilirler.

Bağımsız elemanlar farklı kesitler denenerek ve sonuçları kontrol edilerek interaktif olarak da boyutlandırılabilirler. Bir kesit ister manuel olarak değiştirilsin, ister program tarafından optimum kesiti otomatik belirlensin fark etmez, boyutlama kesiti ile analiz kesiti aynı olana dek boyutlama işlemini tekrarlanır.

Gerilme oranlarının ve dizayn parametrelerinin grafiksel olarak görüntülenmesi mümkündür. İstendiğinde bir tek çubuk nesnesinin dizayn bilgilerine nesne üzerine sağ tuşla tıklanarak tablo halinde ulaşılabilir. İlave bir seçenek olarak tablo halindeki dizayn bilgileri Display menüsündeki komutlar kullanılarak gösterilebilir veya File menüsündeki komutlar kullanılarak yazdırılabilir. Eğer görüntüle, çıktı al veya dışarıya aktar komutları kullanılırken nesneler halihazırda seçilmiş ise sadece seçili nesneler görüntülenebilir, çıktısı alınabilir veya dışarıya aktarılabilir aksi taktirde sonuçlar tüm model için üretilir.

Programda çubuk elemanlarına has yönetmeliklere bağlı boyutlama yapılabilmesine ek olarak betonarme kabuk elemanlarında yönetmelik dışı özel boyutlama gerilmeleri ve çekme donatıları da izlenebilir. Çubuklardan farklı olarak kabuk betonarme elemanlarında gelişmiş dizayn seçenekleri mevcut değildir. Bunun yerine bunlara ait boyutlama verileri görüntüleme menüsünde mevcuttur ve bu değerler kabuktaki çekme basınç kuvvet çifti ile kullanıcının tanımladığı donatı akma gerilmesine bağlı olarak hesaplanır.

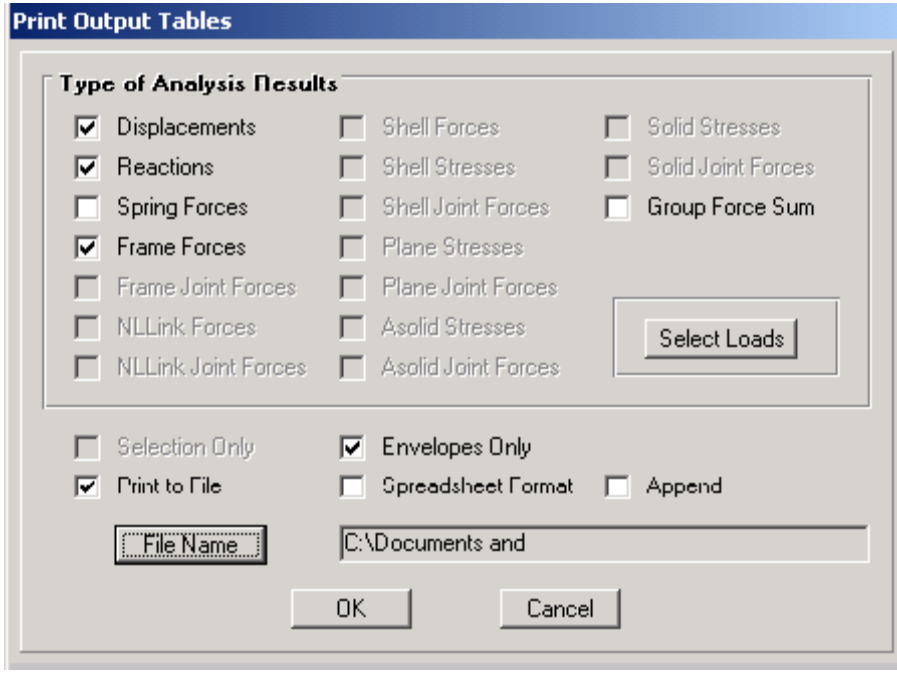
6.5.3 Veri Tabloları

6.5.3.1 Giriş

SAP2000 grafiksel kullanıcı ara yüzü kullanılarak ulaşılabilen tüm verilere tablo verileri biçiminde de ulaşabilirsiniz. Bunlar kolon başlıkları ve ilgili tablo verilerinin ismini taşıyan organize edilmiş bir grup veridir. Bu tablolar modele ait tanımlama bilgileri ile analiz ve dizayn sonuçlarını içerir. Bu tablo verileri grafiksel ara yüzün değiştirilmesi ve görüntülenmesinde kullanılabildiği gibi diğer programlardan veri alıp göndermeye ve çok çeşitli biçimlerde çıktı verisi oluşturmakta da kullanılabilir[7].

6.5.3.2 Veri Tablolarının Sınıflandırılması

SAP2000 tablo verileri üç farklı sınıfa ayrılır ki bunlar model tanımlama, analiz (hesaplama) sonuçları ve dizayn (boyutlama) sonuçlarıdır. Şekil 6.9' de veri tablolarını görüntüleme ekranı gösterilmektedir.



Şekil 6.9: Veri tablolarının görüntüleme penceresi

Model tanımları: Model tanımlama verileri yapısal modelin tüm kısımlarını içerir ki bunlar; özellikler, nesneler, atamalar, yükler, analiz durumları, dizayn ayarları ve benzerleridir. Bunun yanında kullanıcı tanımlı seçenekler ve isimlendirilmiş sonuç tanımlamaları da yapısal model tanımlamanın bölümlerinden sayılır.

Analiz çalıştırılmış olsun veya olmasın, dizayn (boyutlama) yapılmış olsun olmasın model tanımlama verileri mevcuttur. Bu tablolar üzerinde değişiklik yapılabilir, görüntülenebilir, dışarı gönderilebilir, içeri taşınabilir ve çıktısı alınabilir.

Analiz sonuçları: Analiz sonuç bilgileri grafik ara yüzünde oluşturulabilen sehimleri, kuvvetleri, gerilmeleri, enerjileri ve diğer yapısal tepki niceliklerini içerir. Bu veriler halihazırda çalıştırılmış analiz durumları için oluşturulur. Analiz sonuç tabloları görüntülenebilir, dışarı gönderilebilir ve çıktısı alınabilir, ancak üzerinde değişiklik yapılamaz ve içeri taşınamazlar.

Boyutlama (Dizayn) sonuçları: Dizayn sonuç bilgileri gerilmeleri, gerilme oranlarını, etkin boyları, optimum kesitleri, donatı alanlarını ve dizayn işleminden elde edilen tüm diğer nicelikleri içerir. Bu veriler sadece halihazırda boyutlamaya tabi tutulmuş nesneler için oluşturulur. Dizayn sonuç tabloları görüntülenebilir, dışarı gönderilebilir ve çıktısı alınabilir, ancak üzerinde değişiklik yapılamaz ve içeri taşınamazlar.

6.5.3.3 Tablolar ve Alanlar

SAP2000 tablosal verileri daha önceden tanımlanmış bir grup veri tablosu biçiminde düzenler. Her üç farklı veri tipi için farklı bir tablo mevcuttur. Her bir tablonun önceden tanımlı bir adı vardır.

Model tanımlama tablolarına örnek olarak “düğüm noktaları koordinatları” ve “çubuk ve halat elemanı bağlantı şekli” örnek gösterilebilir. Hesaplama -sonuçlar tablosuna örnek olarak “düğüm noktası deplasmanları” ve “eleman kuvvetleri-çubuk elemanları” tabloları örnek verilebilir. Boyutlama-sonuçlar tablosuna örnek olarak “betonarme dizayn 1-kolon özet verileri – ACI 318-99” ve “çelik boyutlama 3-kesme detayları –AISC-LRFD 93” tabloları örnek verilebilir.

Her bir tablo için önceden tanımlı bir tek alan ismi kullanılabilir; alan isimleri tablolarda sütun başlığı olarak kullanılır. Kolonlar herhangi bir düzende sıralanabilir ve istenmeyen sütunlar kullanılmayabilir. Örneğin “düğüm noktası koordinatları” tablosu için alan ismi “Joint”, “CoordSys” ve “Z” dir. Kolon başlığına bağlı olarak burada kullanılan birim bu kolondaki tüm verilere ait olabilir.

Veri tabloya bir yada iki satır olarak girilir. Her bir satır (sütun başlığı) gibi aynı seviyeden alan ismi içerir.

Şekil 6.10 “çubuk ve halat elemanı bağlantı şekli” tablosunu örnek göstermektedir. Bu tabloda yedi alan mevcuttur bunlar “ çerçeve”, “düğüm noktası I”, “düğüm noktası j”, “uzunluk”, “kütle merkezi X”, “kütle merkezi Y” “kütle merkezi Z” dir. Kolon başlığında gösterilen birimler kullanılmaktadır. Tabloya on bir satır veri girilmiş ve bu verilerde çubuk elemanları ile bunların bağlandığı iki uç noktasının isimleri verilmiştir. Aynı zamanda hesaplanmış eleman boyu ve kütle merkezi verilmiştir.

Connectivity - Frame

File View Options Format

Units: As Noted

Connectivity - Frame

	Frame Text	JointI Text	JointJ Text	IsCurved Yes/No	Length in	CentroidX in	CentroidY in	CentroidZ in
►	1	1	2	No	144	-144	0	0
	2	2	3	No	144	0	0	0
	3	3	4	No	144	144	0	0
	4	5	6	No	144	-72	0	144
	5	6	7	No	144	72	0	144
	6	1	5	No	160.997	-180	0	72
	7	2	6	No	160.997	-36	0	72
	8	3	7	No	160.997	108	0	72
	9	2	5	No	160.997	-108	0	72
	10	3	6	No	160.997	36	0	72
	11	4	7	No	160.997	180	0	72

Record: 1 of 11

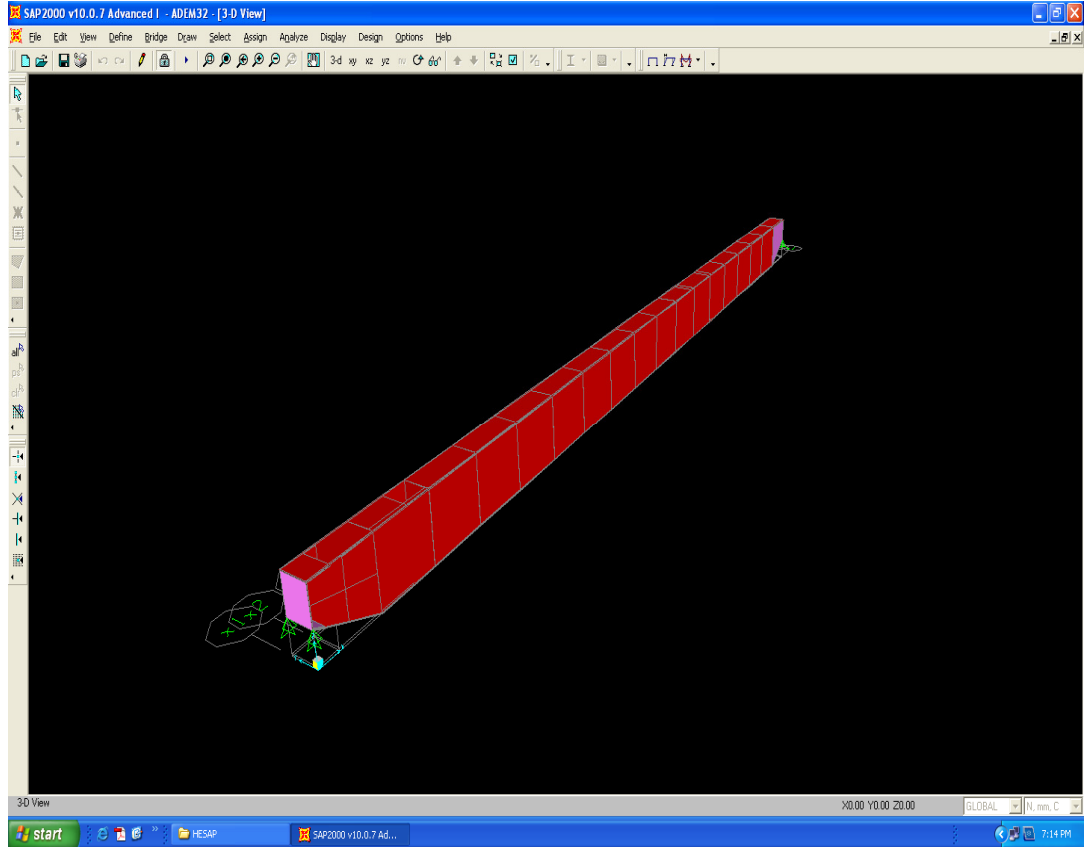
Done

Şekil 6.10: Veritabanı tablosu örneği

7. KREN ANA KİRİŞİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZ

7.1 Giriş

Kren ana kirişinin analizini yapmak için gerekli ölçüler SAP2000’ de girilerek modellenmesi yapılmıştır. Şekil 7.1’ de ana kiriş 3 boyutlu olarak görülmektedir. Analiz sırasında sadece kirişin kendi ağırlığı ve yükten kaynaklı etkilere gözönünde bulundurulmuştur.

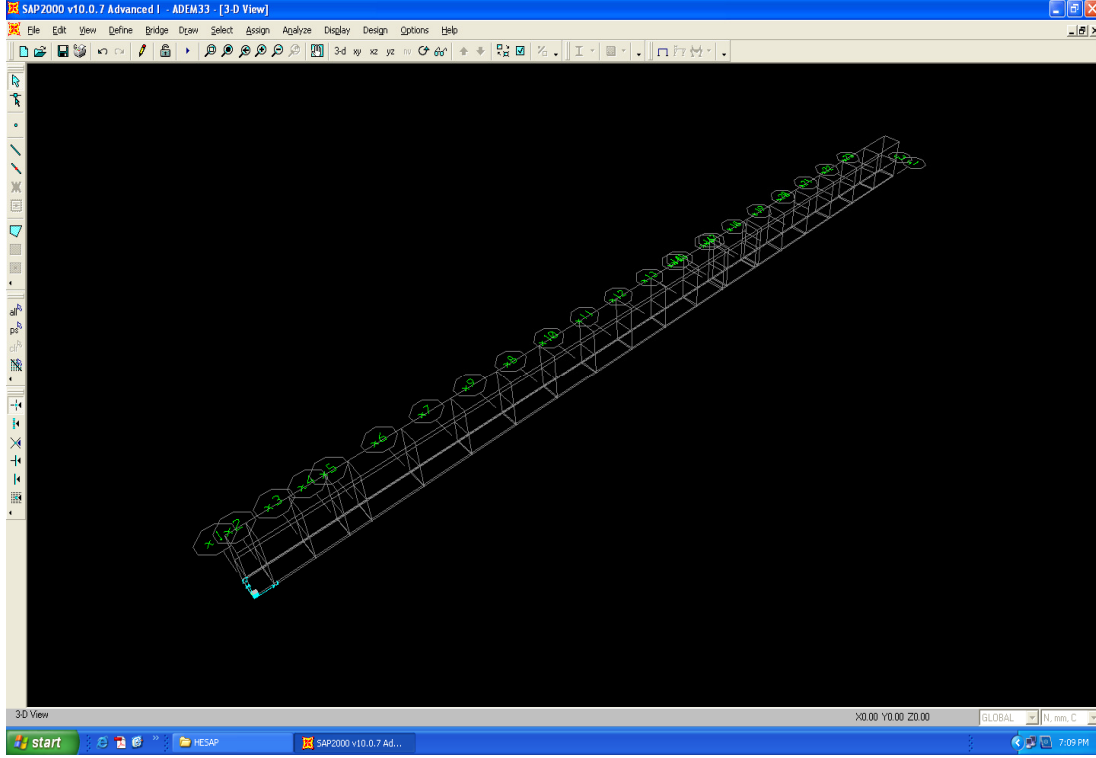


Şekil 7.1: Ana kirişin üç boyutlu görüntüsü

7.2 Ana Kirişin Modellenmesi

Kren ana kirişini modellemek için önce SAP2000’ de kullanacağımız nokta koordinatları girilmiştir. Şekil 7.2’ de nokta koordinatlar görülmektedir.

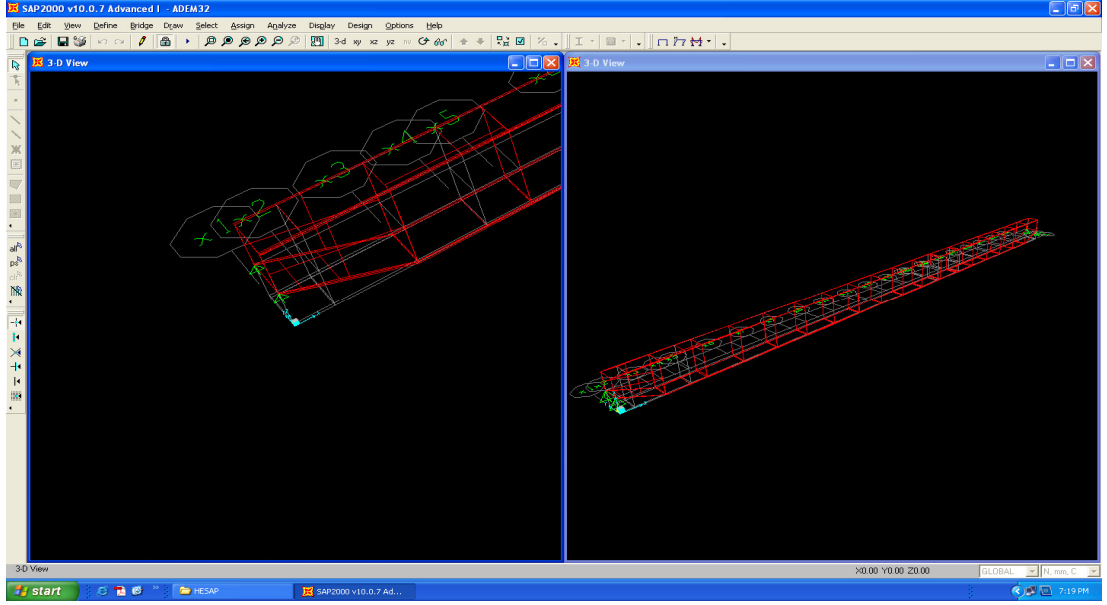
Kullanacağımız saclar SAP2000’ de ‘Define’ bölümünden atanmıştır. Ayarica ana kirişin iç kısımlarında takviye elemanları yerleştirilmiştir. Daha sonra hesaplanan ölçülerde saclarımız oluşturulmuştur.



Şekil 7.2: Ana kirişi oluşturan noktalar

7.3 Kren Ana Kirişin Analizi

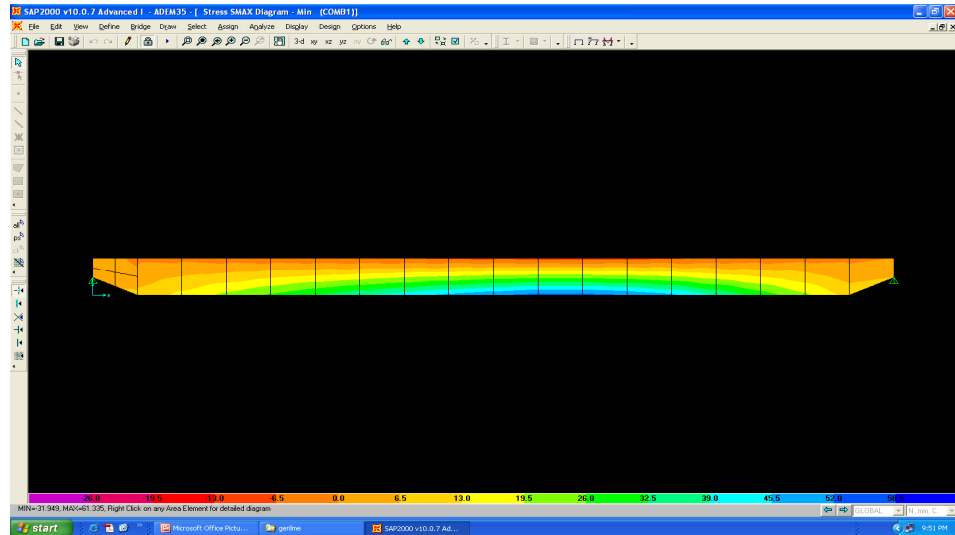
Modellemeden sonra ana kiriş üzerinde sınır şartları belirlenmiştir. Şekil 7.3’ de sınır şartları görülmektedir. Kiriş üzerinde iki tip zorlama olacaktır. Bunlardan birincisi arabanın ortada olma, ikincisi ise arabanın baş kirişe yakın olma durumudur.



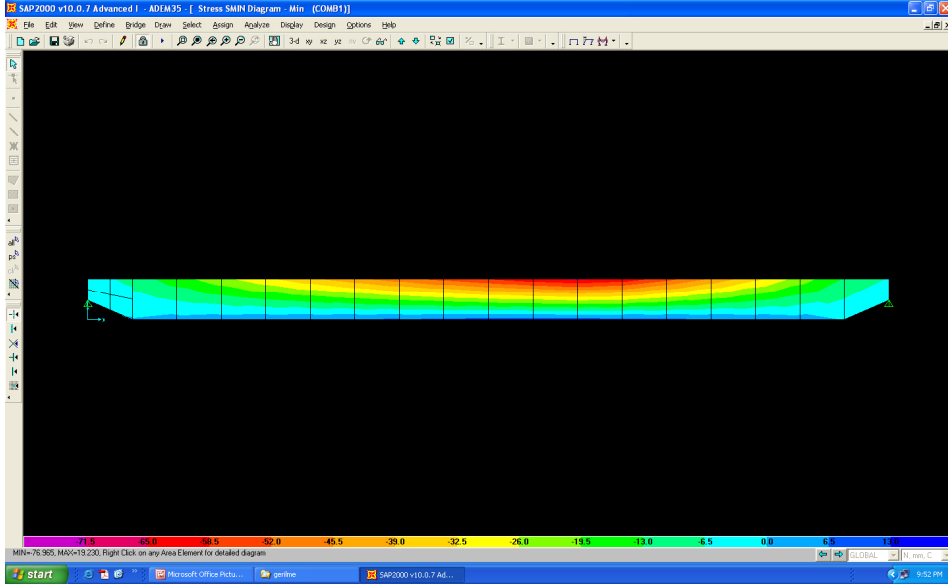
Şekil 7.3: Analiz için gerekli sınır koşulları

7.3.1 Araba' nın ortada olma durumu

Araba orta kısımda iken kiriş sehim değeri daha fazla olacaktır. Orta kısımda z – ekseninde daha fazla yer değişikliği olacaktır. Kirişteki maksimum gerilmelerde orta kısımda oluşacaktır. Üst kısımda basma gerilmesi, alt kısımda ise çekme gerilmesi oluşacaktır. Şekil 7.4

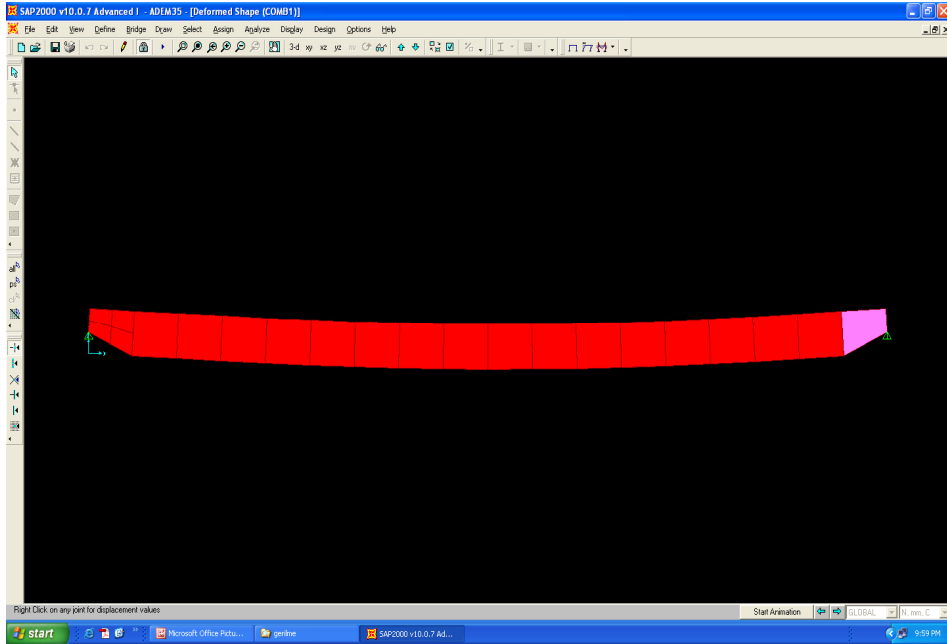


Şekil 7.4 : $S_{\max}$ -Min gerilme diyagramı

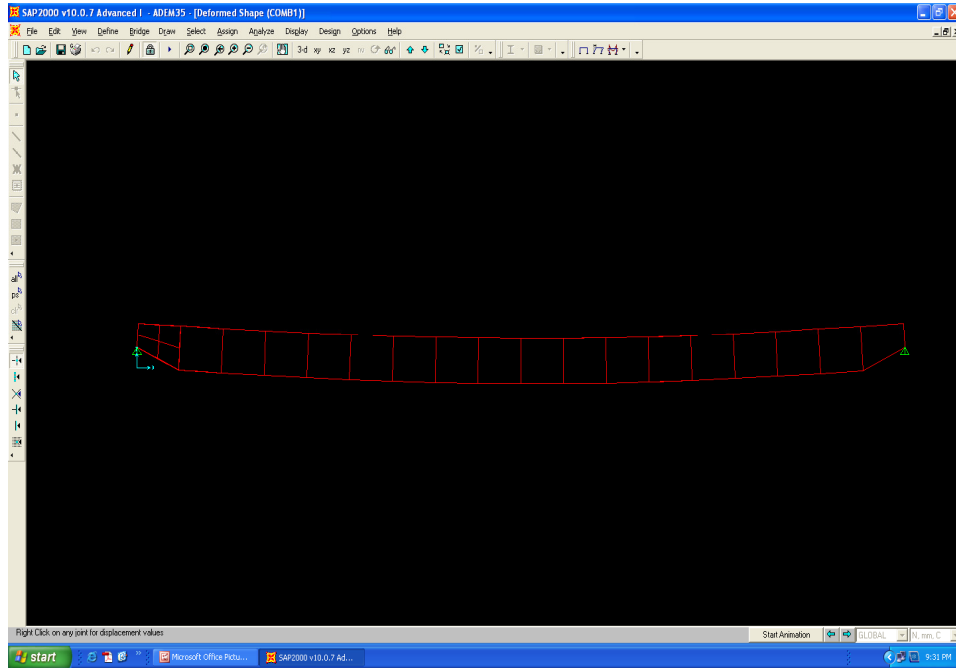


Şekil 7.5: $S_{\max}$ -Max gerilme diyagramı

Kirişte oluşan sehim Şeki 7.6 ve 7.7' deki gibi oluşmaktadır. Orta kısımda oluşan yer değiştirme belirgin olarak görülmektedir.

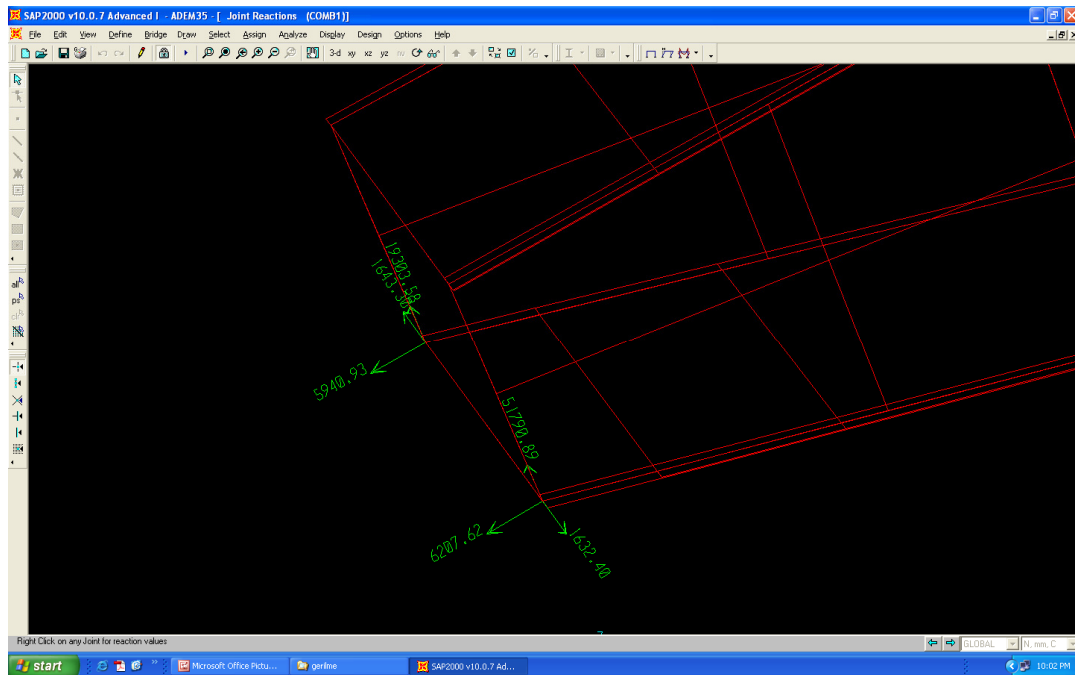


Şekil 7.6: 1.Durumda ana kirişte oluşan sehim



Şekil 7.7: Ana kirişte oluşan sehimin tel kafes olarak yandan görünümü

Şekil 7.8’ de sınır yerlerindeki kuvvetler görülmektedir.

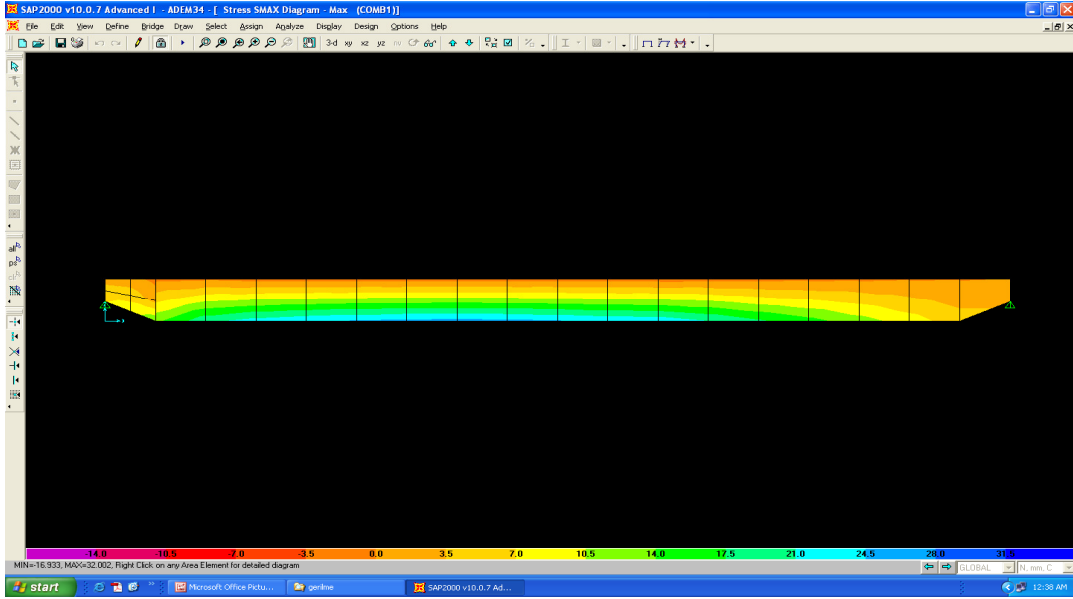


Şekil 7.8 : Ana kirişin sabit olarak tutulduğu bölgede oluşan kuvvetler

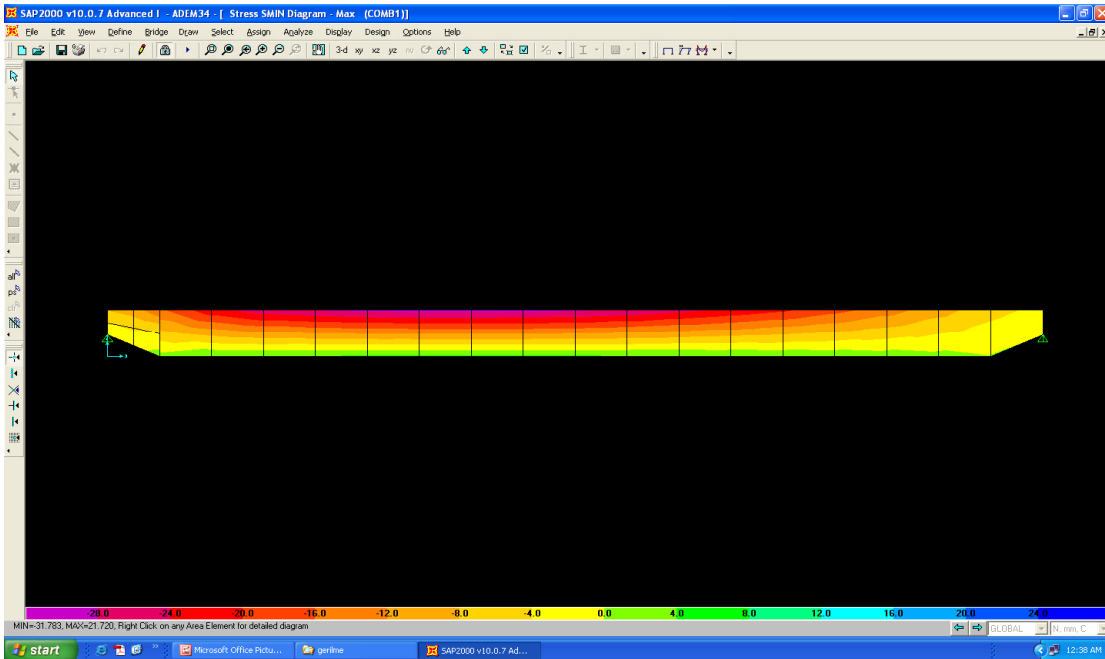
7.3.2 Araba’ nın baş kirişe yakın olma durumu

Araba baş kirişe yakın iken ilk duruma göre değerlerde gözle görülür değişme olacaktır. Sehim ve gerilme burada birinci duruma göre daha az oluşmaktadır. Sınır

koşullarını oluşturan noktalardaki kuvvetler ise, arabanın bulunduğu tarafta daha fazladır. Şekil 7.9 ve 7.10’ da ana kirişte oluşan gerilme diyagramları görülmektedir.



Şekil 7.9 : $S_{\max}$ -Max gerilme diyagramı



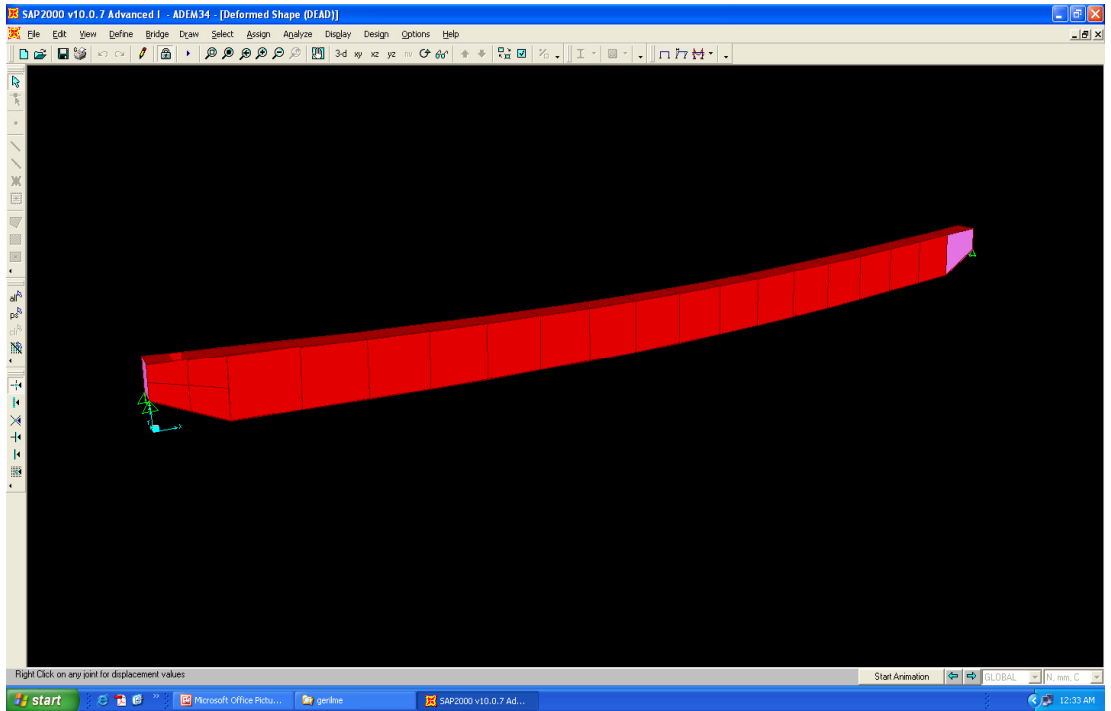
Şekil 7.10 : $S_{\max}$ -Min gerilme diyagramı

Kirişin üzerindeki arabanın baş kirişe yakın iken yükün oluşturduğu sehim fazla olmamaktadır. Yük, ana kirişin baş kirişe bağlandığı yere yakın olması nedeniyle

sehim fazla etki edememektedir. Araba iki baş kirişten ne kadar uzak ise sehim o kadar artar. Şekil 7.11 ve 7.12’ de ana kirişin sehim görünümü gösterilmektedir.

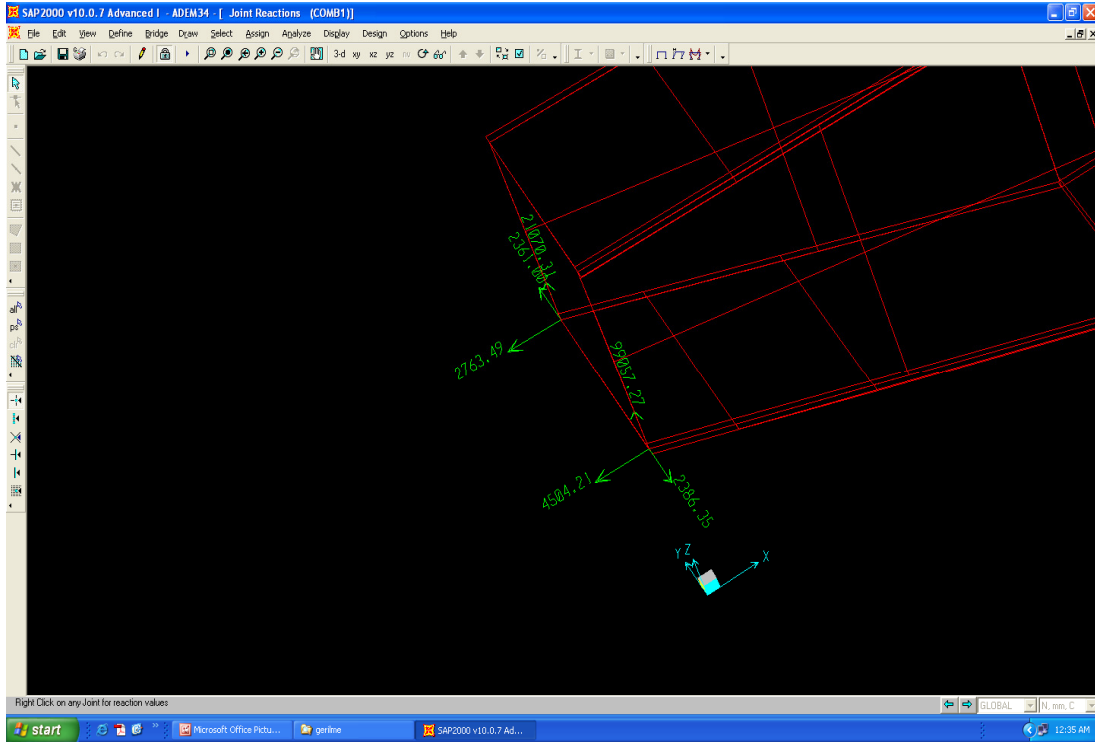


Şekil 7.11: İkinci durumda ana kirişte oluşan sehim



Şekil 7.12: İkinci durumda ana kirişte oluşan sehimin üç boyutlu görünümü

Şekil 7.13' de sınır yerlerindeki kuvvetler görülmektedir.



Şekil 7.13 : 2. Durumda ana kirişin sabit olarak tutulduğu bölgede oluşan kuvvetler

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Statik analiz belki de mühendisler tarafından kullanılan en yaygın analiz türüdür. Yüklerin anlık olarak uygulandığı kabul edildiği için, zamana bağlı herhangi bir etki ihmal edilmiştir. Lineer statik analizde yüklü yapıya uygulanan toplam gerilmeyi dengelemek için anlık olarak bir iç gerilme yarattığı düşünülür. Lineer analizde tüm yapısal cevaplar statik olup, dolayısıyla geometri ve malzemenin cevapları da lineerdir. Yani Hook kanununda olduğu gibi malzeme lineer olarak davranır [1].

Kren ana kirişinin mukavemet hesapları DIN, FEM ve geleneksel mukavemet hesaplama yöntemleriyle lineer hesapları yapıldı. Yapılan hesaplara göre kren ana kirişinin SAP2000' de noktalar oluşturularak iki boyutlu kesitleri elde edilerek 3 boyutlu katı modellemesi hazırlandı. Hazırlanan ana kiriş modeli SAP200' de parçalara bölünerek analizi yapılmıştır. Çizelge 8.1 ve 8.2' de ana kiriş üzerindeki bazı gerilme değerleri verilmektedir.

Takviyelerde oluşan gerilmelere bakıldığında, aslında buruşma takviyelerinin eğilme, basma veya çekmeye karşı mukavemet sağladığı görülmektedir. Ana kirişin buruşmasını engellemek için yerleştirilen bir parçadır.

Kirişte oluşan maksimum gerilmeleri azaltmak için kesit alanını büyütülebilir. Fakat bu durumda maliyeti artıracığından pek fazla istenen bir durum değildir. Ana kirişin yan saçlarına köşebentler yerleştirilerek hem buruşmaya karşı hem de sehime karşı bir önlem alınabilir.

Hem lineer hesaplara göre, hem de sonlu elemanlara göre elde edilen sonuca göre kren ana kirişi üzerinde oluşan gerilmeler, kullanılan malzemenin emniyet gerilmesinden (160N/mm^2) daha düşük olduğu için FEM ve DIN normlarına göre güvenli olduğu anlaşılmıştır.

SEM' le yapılan analiz neticesinde elde edilen gerilme ve deformasyon mertebeleri dikkate alındığında, kren ana kirişinin sonlu eleman modellemesinde kullanılan eleman tipinin ve sınır şartlarının tatminkar hassasiyette sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışmada ana kirişte oluşan sehım değerleri klasik hesaba yakın değerde çıkmaktadır. Bu da SEM’ de bulunan değerlerin geğerliliğini göstermektedir. Çizelge 8.2’ de SAP2000’ de buluna bazı sehım değerleri verilmektedir

Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	SMinTop
Text	Text	Text	Text	Text	N/mm2
1	280	Shell-Thin	91	COMB1	-10,432
1	280	Shell-Thin	302	COMB1	-9,959
1	280	Shell-Thin	125	COMB1	-5,647
1	280	Shell-Thin	87	COMB1	-7,583
2	281	Shell-Thin	94	COMB1	-5,599
37	2	Shell-Thin	82	COMB1	-27,101
37	2	Shell-Thin	15	COMB1	6,681
37	2	Shell-Thin	14	COMB1	6,889
38	3	Shell-Thin	82	COMB1	-36,907
38	3	Shell-Thin	78	COMB1	-36,776
38	3	Shell-Thin	16	COMB1	9,739
38	3	Shell-Thin	15	COMB1	9,393
39	4	Shell-Thin	78	COMB1	-46,097
39	4	Shell-Thin	74	COMB1	-46,045
39	4	Shell-Thin	109	COMB1	12,254
39	4	Shell-Thin	16	COMB1	12,188
40	5	Shell-Thin	74	COMB1	-54,873
40	5	Shell-Thin	70	COMB1	-54,952
40	5	Shell-Thin	110	COMB1	14,909
40	5	Shell-Thin	109	COMB1	14,511
41	6	Shell-Thin	70	COMB1	-59,872
41	6	Shell-Thin	66	COMB1	-59,834
41	6	Shell-Thin	111	COMB1	16,36
41	6	Shell-Thin	110	COMB1	16,297
42	7	Shell-Thin	66	COMB1	-60,41
42	7	Shell-Thin	62	COMB1	-60,308
42	7	Shell-Thin	112	COMB1	16,282
42	7	Shell-Thin	111	COMB1	16,468
43	8	Shell-Thin	62	COMB1	-56,948
43	8	Shell-Thin	58	COMB1	-56,991
43	8	Shell-Thin	113	COMB1	15,437
43	8	Shell-Thin	112	COMB1	15,486
44	9	Shell-Thin	58	COMB1	-53,128
44	9	Shell-Thin	54	COMB1	-53,157
44	9	Shell-Thin	114	COMB1	14,383
44	9	Shell-Thin	113	COMB1	14,452
45	10	Shell-Thin	54	COMB1	-48,73
45	10	Shell-Thin	50	COMB1	-78,777
45	10	Shell-Thin	115	COMB1	13,156
45	10	Shell-Thin	114	COMB1	13,249
46	11	Shell-Thin	50	COMB1	-43,933
46	11	Shell-Thin	46	COMB1	-43,971

Çizelge 8.1 : Bazı noktalarda ana kirişte oluşan gerilme değerleri

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	COMB1	Combination	2,151147	-0,013065	-0,012559
5	COMB1	Combination	2,130508	-0,049818	-4,245165
7	COMB1	Combination	2,163145	-0,010469	0,001726
8	COMB1	Combination	0	0	0
13	COMB1	Combination	2,031894	0,052923	-4,719116
14	COMB1	Combination	1,930979	0,06762	-9,316529
18	COMB1	Combination	1,780726	0,036183	-6,706128
19	COMB1	Combination	0,5174	0,182492	-25,387122
20	COMB1	Combination	0,517227	0,133359	-25,117577
24	COMB1	Combination	0	0	0
26	COMB1	Combination	0,977945	0,131098	-22,908614
27	COMB1	Combination	2,034827	-0,101388	-8,431887
28	COMB1	Combination	0,794472	0,006956	-1,839997
29	COMB1	Combination	0,798628	0,012478	-1,86984
30	COMB1	Combination	2,047346	-0,089127	-8,366009
31	COMB1	Combination	1,897164	-0,146473	-12,356928
32	COMB1	Combination	0,300438	0,000263	-0,69607
33	COMB1	Combination	0,301933	0,004458	-0,707393
51	COMB1	Combination	0,542141	-0,353293	-25,396375
52	COMB1	Combination	0,606855	-0,389686	-25,109519
59	COMB1	Combination	0,242681	-0,424992	-26,116778
60	COMB1	Combination	1,627296	0,066066	-12,363964
61	COMB1	Combination	1,750271	0,052577	-8,437536
372	COMB1	Combination	1,430753	0,093022	-17,444278
5349	COMB1	Combination	1,781079	0,035764	-6,705704
5350	COMB1	Combination	0,517908	0,18453	-25,402385
5351	COMB1	Combination	0,516658	0,131309	-25,111845
5352	COMB1	Combination	0,97591	0,177808	-23,181689
5353	COMB1	Combination	0,978187	0,129208	-22,903361
5356	COMB1	Combination	0,798479	0,01274	-1,870826
5357	COMB1	Combination	0,795817	0,006797	-1,838552
5358	COMB1	Combination	0,302117	0,004735	-0,708485
5359	COMB1	Combination	0,299904	0,000088	-0,696591

Çizelge 8.2 : Ana kirişte oluşan bazı sehîm değeri

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	N	N	N
8	COMB1	Combination	-5940,93	1643,3	19303,58
24	COMB1	Combination	-6207,62	-1632,4	51790,89
302	COMB1	Combination	6654,3	-9591,02	75692,15
303	COMB1	Combination	5494,25	9580,13	19918,98

Çizelge 8.3 : Ana kiriş sınır kuvvet değerleri

	KLASİK HESAP	SAP2000 SONLU ELEMENLAR METHODU
GERİLME	95,05 N/mm ²	72,00 N/mm ²
SEHİM	26,03 mm	25,40 mm

Çizelge 8.4: Klasik hesap ve SAP2000 ile bulunan değerler

Bu araştırma sonucunda ana kiriş, üzerinde oluşan gerilme ve sehim değerleri emniyet sınırları içerisinde olduğundan uygun biçimde imal edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Demirsöz, R.**, 2005. Asansör Kılavuz Rayların Gerilme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Bedir, S.**, 2007. Çift Yönlü Asansör Fren Bloklarının Modellenmesi ve Sonlu Elemanların Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Kurtay T.**, 1980. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş Ders Notu, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [4] **F.E.M.**, 1998. 1.001 3. Baskı 1998.10.01
- [5] **Kurt, S., Kutay, M., Aslan, R.**, 2008, Krenlerde Çelik Konstrüksiyon, 1. Cilt MMO, Ankara.
- [6] **Öztepe H.**, 1999. Transport Tekniği-Kaldırma ve Taşıma makineleri, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.
- [7] **<http://www.com-engineering.com/SAPManT.htm>**, 2006.15.04 SAP2000 Başlarken.
- [8] **Demirsoy, M.**, 2005, Kaldırma Makinaları (Krenler), MMO, Ankara.
- [9] **Taşkın, T.**, 2008, Kafes Kirişli Portal Krenin Elemanlarının Sonlu Elemanlar Sayısal Yöntemiyle Dinamik Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Adem Varol

Doğum Yeri ve Tarihi: Zonguldak, 04/05/1982

Adres: 690 Evler K-3 Blok No/102 Alaplı/ZONGULDAK

Lisans Üniversitesi: Kocaeli Üniversitesi/Makine Mühendisliği, 2005