

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NÜKLEER TESİSLERDE KULLANIMA UYGUN
ÇİFT ANA KİRİŞLİ GEZER KÖPRÜLÜ BİR KRENİN TASARIMI VE
YAPISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kutay ÇITIR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. C. Erdem İMRAK

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NÜKLEER TESİSLERDE KULLANIMA UYGUN
ÇİFT ANA KİRİŞLİ GEZER KÖPRÜLÜ BİR KRENİN TASARIMI VE
YAPISAL ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kutay ÇİTİR
(503111231)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. C. Erdem İMRAK

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111231 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Kutay ÇITIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “NÜKLEER TESİSLERDE KULLANIMA UYGUN ÇİFT ANA KİRİŞLİ GEZER KÖPRÜLÜ BİR KRENİN TASARIMI VE YAPISAL ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. C. Erdem İMRAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cüneyt FETVACI
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **20 Ekim 2015**
Savunma Tarihi : **24 Aralık 2015**

Sevgili Anneme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, çift ana kirişli gezer köprülü kren sisteminin elemanları standartlara uygun tasarlanmış olup, klasik mukavemet hesapları yapılmıştır. Bilgisayar destekli çizim programı yardımıyla oluşturulan üç boyutlu modeli bilgisayar destekli mühendislik programında sonlu elemanlar yöntemleriyle yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deformasyon ve gerilme analizleri ile mukavemet hesapları karşılaştırılarak sistemin validasyonu sağlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca anlayışını esirgemeyen ve bana görüşleriyle yol gösteren tez danışmanım sayın Prof. Dr. C. Erdem İMRAK' a, Makine Fakültesi' nin değerli mensupları hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan biricik annem Tunay ÇİTİR'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2015

Kutay Çıtır
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Nükleer Tesisler	3
1.2 Depremler.....	4
1.2.1 Deprem şiddeti ve büyüklüğü	5
1.2.2 Deprem dalgaları	6
1.3 Türkiye Sismik Haritası	7
2. ÇELİK YAPILARDA SİSMİK HESAPLAR.....	8
2.1 Mod Birleştirme Yöntemi (Davranış Spektrumu).....	8
2.2 Eşdeğer Deprem Yükleri Yöntemi	10
2.2.1 Eşdeğer deprem yükleri hesabı	18
3. GEZER KÖPRÜLÜ KREN ELEMANLARI.....	23
3.1 Ana Kiriş	23
3.2 Baş Kiriş	23
3.3 Arabalar (Kediler)	24
3.4 Kren Parçalarının İmalatı	25
4. GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	26
4.1 Krenin Teknik Özellikleri	26
4.2 Kren Teknik Özelliklerinin Standartlara Uygun Sıralaması	27
4.3 Nükleer Santraller için Kaldırma Ekipmanı Yönetmelikleri.....	27
4.3.1 NQA-1 ve 10CFR bölüm 50 ek B standartları	27
4.3.2 NUREG-0554 ve NUREG-0612 standartları	28
5. GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN MUKAVEMET HESAPLARI	29
5.1 Ana Kiriş Hesabı ve Boyutlandırması.....	30
5.2 Gezer Köprülü Krenin Modellenmesi	39
6. KRENİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	41
6.1 Modelin Analiz Programında Oluşturulması	42
6.2 Malzeme Özellikleri ve Sınır Koşul Verilerinin Girilmesi	43
6.3 Modelin Ağ Yapısının Oluşturulması	44
6.4 Modelin Statik Analizi	45
7. KRENİN SİSMİK ANALİZİ	50
7.1 Modelin Analiz Programında Oluşturulması	51
7.2 Malzeme Özellikleri ve Sınır Koşul Verilerinin Girilmesi	52
7.3 Modelin Eşdeğer Deprem Yükleri Yöntemi ile Analizi.....	53
7.4 Modelin Mod Birleştirme Yöntemi ile Analizi	56
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

ASME	: American Society of Mechanical Engineers
AWS	: American Welding Society
BDH	: Biçim Değiştirme Enerjisi Hipotezi (V.Mises ve Henky)
CAD	: Computer Aided Design
CAE	: Computer Aided Engineer
CFR	: Code of Federal Regulations
CQC	: Complete Quadratic Combination
DIN	: Deutsches Institut Für Normung
FEM	: Federation Europeenne De La Manutention
NUREG	: Nuclear Regulatory Guide
NQA	: Nuclear Quality Assurance
RMS	: Root Mean Square
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu

SEMBOLLER

G_i	:i'inci katta sistemin sabit yükleri [Ton]
Q	:Sistemin hareketli yükleri [Ton]
I	:Bina önem katsayısı
A_o	:Etkin yer ivme katsayısı
T_A	:Spektrum karakteristik periyotları [s]
R	:Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
n	:Hareketli yük katılım katsayısı
w_i	:i'inci katın kat ağırlığı [Ton]
H_i	:i'inci katın kat yüksekliği [m]
F_{fi}	:Fiktif yük [Ton]
d_{fi}	:Fiktif deplasman [m]
T_1	:Doğal titreşim peryodu [s]
V_t	:Taban kesme kuvveti [Ton]
$A(T_i)$	:Spektral ivme katsayısı
$S(T_i)$	:Spektrum katsayısı
$R_a(T_i)$	:Deprem yükü azaltma katsayısı
G_y	:Kaldırma yükü [kg]
g	:Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
F_y	:Kaldırma kuvveti [N]
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]
f_{em}	:Emniyetli sehim değeri [mm]
n_t	:Tekerlek sayısı
F_{TD}	:Tekerleklerle gelen kuvvetler
ψ	:Kaldırma yükü katsayısı
E	:Elastisite modülü
μ	:Poisson oranı
I_{xger}	:Kesit için gerekli olan atalet momenti [mm^4]
I_x	:Kirisin x-eksenine göre atalet momenti [mm^4]
W_x	:Kirisin x-eksenine göre mukavemet momenti [mm^4]
G_{per}	:Perdelerin birim ağırlığı [kg/m]
q_K	:Kirisin perde ile birlikte birim ağırlığı [kg/m]
f_g	:Zati ağırlığın oluşturduğu sehim [mm]
f_p	:Yükün oluşturduğu sehim [mm]
σ_1	:Kirisin 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}	:Kirisdeki toplam kayma gerilmesi [N/mm^2]
σ_v	:Karsılaştırma gerilmesi [N/mm^2]
$\sigma_{D\phi(\kappa)EM}$	:Sürekli dinamik emniyetli çekme gerilmesi [N/mm^2]
κ	:Sınır gerilme oranı
k_λ	:Yatay yük katsayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Ülkelerin nükleer elektrik üretimindeki payları.	2
Çizelge 1.2 : Deprem şiddeti ve büyüklüğü ilişkisi.	6
Çizelge 1.3 : Deprem Bölgeleri ve Richter büyüklüğü ilişkisi.	7
Çizelge 2.1 : Hareketli yük katılım sayısı.	11
Çizelge 2.2 : Bina Önem Katsayısı.	13
Çizelge 2.3 : Etkin yer ivmesi katsayısının deprem bölgelerine göre ilişkisi.	14
Çizelge 2.4 : Zemin grupları.	14
Çizelge 2.5 : Spektrum karakteristik periyotlarının zemin sınıfı ilişkisi.	15
Çizelge 2.6 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı.	16
Çizelge 2.7 : Kat ağırlıkları.	20
Çizelge 2.8 : Fiktif yükler.	21
Çizelge 2.9 : Rayleigh oranı ile T1 'in hesabı.	21
Çizelge 2.10 : Eşdeğer kat deprem yükleri.	22
Çizelge 4.1 : S235JR (EN10025) / St37-2 (DIN 17100) Malzeme özellikleri.	26
Çizelge 4.2 : S355JR (EN10025) / St52-3 (DIN 17100) Malzeme özellikleri.	26
Çizelge 5.1 : Çeliklerin yükleme durumları – maksimum emniyet gerilmeleri.	38
Çizelge B.1 : Ana kirişin yüksek şiddette sismik analizi sonucu elde edilen bazı gerilme değerleri.	66
Çizelge B.2 : Ana kirişin yüksek şiddette sismik analizi sonucu elde edilen bazı yatay yer değişim değerleri.	67
Çizelge B.3 : Ana kirişin düşük şiddette sismik analizi sonucu elde edilen bazı gerilme değerleri.	68
Çizelge B.4 : Ana kirişin düşük şiddette sismik analizi sonucu elde edilen bazı yatay yer değişim değerleri.	69
Çizelge C.1 : Klasik hesap ile analiz sonuçlarından elde edilen değerler.	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çift kirişli gezer köprülü krenin sistem şeması.....	1
Şekil 1.2 : Nükleer santralin şematik görünümü.....	3
Şekil 1.3 : Çift kirişli gezer köprülü krenin sistem şeması.....	6
Şekil 1.4 : Türkiye deprem haritası.....	7
Şekil 2.1 : Türkiye deprem yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumlarının farklı deprem bölgeleri ve farklı zemin sınıfları için gösterimi.....	13
Şekil 2.2 : Tasarım ivme spektrum grafiği	14
Şekil 2.3 : Deprem yükü azaltma katsayısı grafiği.....	17
Şekil 2.4 : 4 Katlı eşdeğer deprem yükü hesabı modeli	18
Şekil 2.5 : Sistemin deprem yükleri dağılımı	22
Şekil 3.1 : Gezer köprülü krenin ana kirişi.....	23
Şekil 3.2 : Gezer köprülü krenin baş kirişleri.....	24
Şekil 3.3 : Gezer köprülü kren arabası.....	24
Şekil 3.4 : Çift kirişte soldan sağa sırasıyla K2, K3, K4, K4 çentik grupları.....	25
Şekil 5.1 : Ana kiriş kesiti	32
Şekil 5.2 : Kren Ana Kiriş Modeli.....	39
Şekil 5.3 : Baş Kiriş Modeli	39
Şekil 5.4 : Araba Modeli.....	40
Şekil 5.5 : Kren Parçalarının Montajlanmış Modeli ön görünüşü	40
Şekil 5.6 : Kren Parçalarının Montajlanmış Modeli üst görünüşü.....	40
Şekil 5.7 : Kren Parçalarının Montajlanmış Modeli izometrik görünüşü	40
Şekil 6.1 : ABAQUS paket programı ana penceresi.....	41
Şekil 6.2 : Parça oluşturma penceresi	42
Şekil 6.3 : Parça birleştirme penceresi.....	42
Şekil 6.4 : Krenin üç boyutlu modeli.....	43
Şekil 6.5 : Modelin malzeme özellikleri.....	43
Şekil 6.6 : Modelin Sınır koşulları.....	44
Şekil 6.7 : Modelin ağ yapısı	44
Şekil 6.8 : Krenin, arabanın ortada olma koşulunda Von Misses gerilm dağılımını gösteren analiz sonucu	45
Şekil 6.9 : Krenin, arabanın ortada olma koşulunda sehım dağılımını gösteren analiz sonucu	45
Şekil 6.10 : Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesinden alınan noktaların seçim penceresi	46
Şekil 6.11 : Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesindeki basma ve çekme gerilmeleri grafiği	46
Şekil 6.12 : Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesinde elde edilen maksimum sehım grafiği.....	47
Şekil 6.13 : Krenin, arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda Von Misses gerilm dağılımını gösteren analiz sonucu.....	47
Şekil 6.14 : Krenin, arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda sehım dağılımını gösteren analiz sonucu	48
Şekil 6.15 : Arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesinden alınan noktaların seçim penceresi	48
Şekil 6.16 : Arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesindeki gerilme grafiği.....	49

Şekil 6.17 : Arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesinde elde edilen maksimum sehim grafiği	49
Şekil 7.1 : SAP2000 Paket programı ana penceresi.....	51
Şekil 7.2 : Ana ve baş kiriş modeli	51
Şekil 7.3 : Ana ve baş kiriş modelini meydana getiren noktalar	52
Şekil 7.4 : Ana ve baş kiriş modeli sınır şartları.....	52
Şekil 7.5 : Modelin sismik sınır şartları.....	53
Şekil 7.6 : Modelin birleştirme yöntemi seçimi.....	54
Şekil 7.7 : Analiz sonucu zeminin tepki kuvvetleri	54
Şekil 7.8 : Yüksek şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği yer değiştirmeler.....	55
Şekil 7.9 : Yüksek şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği gerilmeler	55
Şekil 7.10 : Düşük şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği yer değiştirmeler.....	56
Şekil 7.11 : Düşük şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği gerilmeler	56
Şekil 7.12 : Ana kiriş modelinin mod birleştirme yöntemi ile analizinin sınır koşulları.....	57
Şekil 7.13 : Ana kiriş modelinin mod birleştirme yöntem yük tanımlama penceresi.....	57
Şekil 7.14 : Mod birleştirme analizi sonucu zeminin tepki kuvvetleri	58
Şekil 7.15 : Mod birleştirme analizi sonucu elde edilen ana kiriş sehimini	58
Şekil 7.16 : Mod birleştirme analizi sonucu ana kiriş modelinde meydana gelen gerilmeler	58
Şekil A.1 : Kren modelinin önden ve üstten görünümü	64

NÜKLEER TESİSLERDE KULLANIMA UYGUN ÇİFT ANA KİRİŞLİ GEZER KÖPRÜLÜ BİR KRENİN TASARIMI VE YAPISAL ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde krenler, sadece sanayi alanlarında kullanılmadığı gibi nükleer santrallerde de kullanılmaktadır. İnsan gücünün kaldırabileceğinin çok üzerinde olan yüklerin taşınmasında yüksek tonajlı krenler kullanılmaktadır. Nükleer santraller, kapalı alanlar olduğundan santral içinde köprülü krenlerin kullanımı yaygındır. Krenlerin yükleri kaldırırken hasar görmeleri belki büyük bir çevresel felakete yol açabileceğinden mukavemet hesapları dikkatli yapılmalı ve elde edilen sonuçlar dikkatli oluşturulmuş bir sonlu elemanlar analizi programı ile valide edilmelidir. Bu çalışmada kren ana kirişi ayrıntılı olarak anlatılmış ve köprülü krenin teknik özellikleri belirtilmiştir. Nükleer santrallerden nasıl enerji elde edildiği ve nükleer santrallerde çalışan krenler için önem arzeden depremlerin tanımı ve hesap yöntemlerine değinilmiştir. FEM ve DIN normlarına uygun kren parçalarının mukavemet hesapları ele alınmıştır. Daha sonra INVENTOR/CAD programı kullanılarak analiz için krenin modeli oluşturulmuştur. ABAQUS/CAE programı kullanılarak, kren parçalarının sonlu elemanlar yöntemine göre analizi yapılmıştır. Ayrıca krenin sismik etkileri SAP2000 yazılımı ile analiz edilmiştir. Son olarak sonlu elemanlar metodu ile analitik yöntemlerle elde edilen gerilme ve sehim değerleri karşılaştırılmıştır.

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE BASIC BEAM OF THE BRIDGE CRANE WHICH IS SUITABLE FOR NUCLEAR PLANTS

SUMMARY

Nowadays, cranes not only used in industrial fields but also they used in nuclear plants. The transportation of the heavy loads, where these exceed human power to lift, are done by high tonned cranes. Bridge cranes are suitable types of cranes because of nuclear santrals closed working places. In order to prevent damage of the cranes during lifting loads can cause natural disasters, strength calculations of the cranes are being investigated carefully and are validating with the results that are being obtained with high attention from finite element analysis.

Cranes are designed in accordance with operating conditions. The datas such as lifting height, lifting speed, moving speed, crane capacity and environmental risks like earthquakes, storms and tsunamis must be previously known or considered.

In this study, the main beam of the bridge crane has been discribed detailedly and the technical specification of the bridge crane has been given. It has been given information and calculation technique in short about genetating energy from nuclear stations and it has been described and calculation technique of earthquakes which is important for safety of nuclear santrals bridge cranes. The strenght of the parts of the crane has been calculated according to FEM and DIN norms. Afterwards, bridge crane parts has been generated by using INVENTOR/CAD programme for analysis purposes. Finite element method of crane parts of the crane has been analized by using ABAQUS/CAE programme. Also seismic effects of the crane has been analized by using SAP2000 software. Finally, stress and displacement values have been comparing results of the analitical calculation with the results that were obtained by finite element method.

In the first chapter of the study, general informations about nuclear reactions, nuclear power plants, earthquakes, seismic intensity, seismic magnitude and the seismic map of Turkey are introduced.

Before making the seismic calculations of the simplified crane, seismic calculation methods are mentioned in the second chapter. There are two different calculation

method. One is spectrum analysis method and the other one is equivalent seismic load method. In this study only equivalent seismic load method was used.

In the third chapter of the study, general informations about cranes have been given and main parts of a bridge crane are introduced such as main beam, trolley and end truck. Moreover, manufacture of welded crane parts are mentioned in this chapter.

In the fourth chapter, technical specification of the cranes are mentioned. The classification of the crane prepared according to crane standards and nuclear safety standards.

In the chapter five, strength of material calculations of the crane has been made. Main beam of the crane was determined according to fourth chapter with analytical calculations. These structures are modeled with the help of a CAD program. Not only main beams were modeled but also end trucks, trolley and runway beams were modeled as well for easier understanding of the study.

The main beam of the bridge crane is designed and modeled in 3D. In the design section, every sheet metal thickness of the crane structure and the dimentions of the main beam and the internal reinforcing structure elements are determined with analytical calculations. This geometric design criterias are added with the help of a CAD programs.

Before making the stress calculations of the crane, load cases are mentioned. Self weight of crane, working load, trolley weights are taken into account.

Moreover, each trolley can be at various positions on the main beam. This situation creates more combination of loading. In the first case, trolley is at the center of the main beam. In the second case, trolley is at the nearest position to the left side of the main beam. In brief, these cases are; self weight loading case, static loading case when the trolley is in the center, static loading case when the trolley is in the left side of the crane. As a result, maximum stress and strain values were seen in the first load case.

Secondly, seismic calculations of the crane, seismic criterias must be selected in the seismic analysis software. Every kind of seismic magnitudes can be defined in the program. In this study case, trolley weights and applied loads are neglected.

In the sixth chapter of this study, general information about the finite element method is given and each step of the analysis is explained. The analysis of the basic crane model is performed using finite element method with the help of FEM program. All of the stress and deflection results are shown with colored legends.

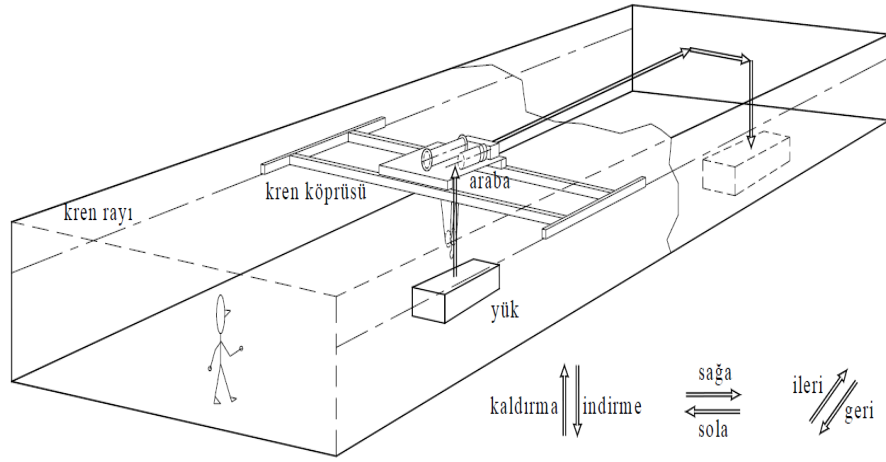
In the seventh chapter, a general information about seismic analysis software is mentioned and each step of the seismic analysis is explained. Results of stresses and deflections are shown with colored legends.

To summarize, strength of material calculations of the bridge crane has been made. Seismic calculations of the simplified bridge crane has been made. Static calculations of the bridge crane has been made in two different load case. In the first load case , loads applied to the center center of the bridge crane. In the second load case, loads applied to the left side of the bridge crane. According to seismic standards, seismic calculations of the bridge crane has been made with the help of a seismic analysis software.

In the final chapter of this study, static calculations and analysis results are compared. Seismic calculations and analysis results were also compared. Lastly, possible future suggestions are mentioned.

1. GİRİŞ

Krenler, yükü kaldıran ve birden fazla eksenle hareket ettirebilen kaldırma ve taşıma makinelerine verilen isimdir. Portal krenler, jib krenler ve köprülü krenler bunlardan bazılarıdır. Vinçler, yükleri tek bir eksenle çeken basit kaldırma makineleridir. Krenler ise üzerinde vinç sistemini bulunduran, çok eksenli yük taşıyabilen ve kaldıracı olan makinelerdir [1]. Herhangi bir fabrikada kullanılabilecek kren sistemi şematik olarak görülmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Çift kirişli gezer köprülü krenin sistem şeması.

Kren makinelerinin kullanıldığı bir çok alandan biri de nükleer güç tesisleridir. Nükleer güç tesislerinde oluşabilecek en küçük hata sonucu büyük çevresel bir felaket söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle nükleer tesis içinde bulunan bütün makine ve cihazların standartlara uygun bir şekilde üretiliyor ve kullanılıyor olması gerekir, kren makineleri de buna dahildir [2]. Bu çalışmada, nükleer tesislerde kullanılmak üzere çift ana kirişli gezer köprülü krenin tasarımı ve yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın birinci bölümünde, nükleer tesislerin çalışma şekli hakkında genel bilgilendirmede bulunulmuştur. Nükleer tesislerde görev alacak krenler için önem arz eden depremlerin yapısı, sınıflandırılması, şiddeti ve büyüklüğü hakkında bilgi verilmiş ayrıca Türkiye sismik haritası üzerinde deprem

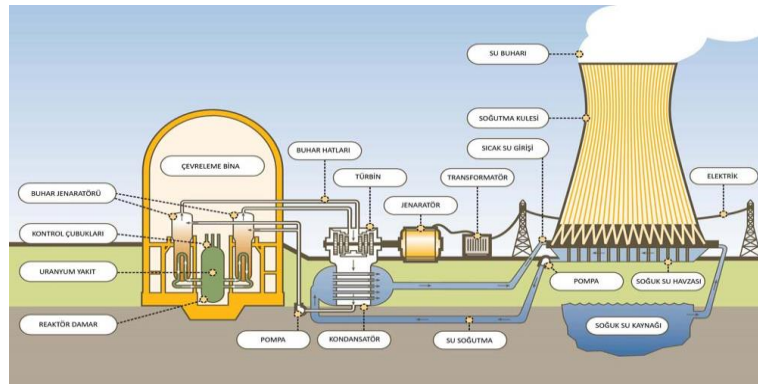
bölgelerinin richter büyüklükleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, çelik yapılarda kullanılan sismik hesap yöntemleri ile kren sisteminin sismik hesapları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, gezer köprülülük krenlerin ana elemanları tanıtılmış ve kren parçalarının imalat yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde, gezer köprülülük krenin teknik özellikleri tanımlanmış, genel ve nükleer santraller için kren standartları belirlenmiştir. Beşinci bölümde, gezer köprülülük kren sisteminde bulunan ana kiriş, baş kiriş ve arabanın mukavemet hesapları ile boyutlandırmaları yapılmıştır. Altıncı bölümde, gezer köprülülük krenin bilgisayar destekli modelleme basamakları gösterilmiştir. Yedinci ve sekizinci bölümlerde gerçekleştirilen statik ve sismik analiz aşamaları gösterilip elde edilen sonuçlar, hesaplamalarla karşılaştırılmış ve kren sistemi için iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur. Nisan 2013 Türkiye Atom Enerjisi kurumu verilerine göre bazı ülkelerdeki nükleer elektrik ünite sayıları ve elektrik üretimindeki payları görülmektedir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 : Ülkelerin nükleer elektrik üretimindeki payları.

ÜLKELER	ÜNİTE SAYISI	ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ PAYI (%)
ABD	104	19
Fransa	58	78
Japonya	50	18
Rusya	33	18
Güney Kore	23	35
Kanada	20	15
Hindistan	20	4
Çin	16	2
Birleşik Krallık	16	16
Ukrayna	15	48
İsveç	10	38
Almanya	9	18
İspanya	8	20
Belçika	7	54
Çek Cumhuriyeti	6	33
Tayvan	6	19
İsviçre	5	38
Finlandiya	4	32
Macaristan	4	43
Slovakya	4	54
Pakistan	3	4
Arjantin	2	5
Brezilya	2	3
Bulgaristan	2	33
Meksika	2	4

1.1 Nükleer Tesisler

Nükleer enerji, atom çekirdeğindeki nötron ve protonu bir arada tutan enerjidir. Bu enerji, zenginleştirilmiş uranyum türleri U-235 başta olmak üzere, U-233, U-238 ve plütonyum P-239 ve P-241 gibi ağır bir atomun çekirdeğini bölerek (filyon) çok büyük miktarda enerji elde edilir. Bu bölünmenin gerçekleşmesi için, nötronlar yüksek bir hızla uranyum elementinin çekirdeğine çarpmalıdır. Bu çarpışma sonucunda çekirdek kararsızlaşır ve sonucunda filyon tepkimesi denilen nükleer enerji elde edilir. İlk filyon tepkimesi sonucu yayılan nötronlar diğer uranyum çekirdeklerine çarparak filyonu elementin tüm atom çekirdeklerinde gerçekleşmesini sağlarlar. Bu nedenle filyon tepkimesini kontrol altında tutmak için fazla nötronu tutarak tepkimeye girmelerini önleyen üniteler santrallerde bulundurulur. Bu yöntem, nükleer elektrik santrallerinde ve atom bombalarının yapımında kullanılır. Döteryum ve trityum gibi küçük çekirdeklerin kaynaşmasıyla (füzyon) enerji elde etmek mümkündür. Güneş 'te füzyon tepkimeleri sık sık gerçekleşmekte ve hidrojen bombasının yapımında kullanılmaktadır. Nükleer santralin şematik görünümü gösterilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Nükleer santralin şematik görünümü.

1957 Yılında ABD 'de basınçlı su reaktörlü ilk nükleer santral inşa edilmiştir. Basınçlı su reaktörleri en yaygın kullanılan reaktör türüdür ve nükleer fisyon sonucu elde edilen ısınn oluşturduğu buhar, elektrik üreten jeneratörlerin türbinlerini çalıştırır. Türbin kanatlarına çarpan yüksek enerjili buhar, türbinin şaftını tahrik eder ve jeneratörün elektrik enerjisi üretmesi sağlanır. Türbinden çıkan düşük basınçlı ve sıcaklıklı buhar, yoğunlaştırıcıya gönderilerek su haline gelir ve bu çevrim tekrarlanır. Daha karmaşık ve pahalı bir sistem olan diğer bir reaktör türü ise kendi yakıtını üretebilen, nükleer reaksiyon sonucu daha fazla yakıt ortaya çıkaran hızlı –

retken reaktörleridir. Nükleer endüstrideki ağır kaldırma ekipmanlarının zorlu koşullarda çalışanlara, halk sağlığına ve çevreye zarar vermeden, tesis ekipmanlarını ve çalışmayı etkilemeden veya yükleri düşürmeden kullanılabilmesi gerekir. Bu nedenle nükleer santrallerde kullanılan krenlerin olabilecek bütün kazalara dayanabilecek şekilde tasarlanması gerekir [3].

1.2 Depremler

En genel ifadeyle deprem, yeryüzünde hissedilen yer sarsıntılarına verilen isimdir ve bir doğa olayıdır. Depremi nedenleri rijit, katı litosfer parçalarının kırılması, kayması veya gezegenin i ısısının artmasından kaynaklanmaktadır. Yeryüzüne yakın bölgelerde oluşan sert kaya tabakaları, büyük boyutlu yer kabuğu kırıkları olan faylara bağlıdır. Diri faylar (aktif faylar) tektonik depremlerin oluşmasının asıl nedenleridir. Dünyada meydana gelen bir çok deprem bu trdeindir. Türkiyenin bir deprem ülkesi olara sayılmasının en büyük nedeni, ülkeyi doğudan batıya kat eden Kuzey Anadolu fay hattıdır. Dünyada da buna benzer fay hatları mevcuttur. Depremi inceleyen bilim dalına sismoloji denir. (seimos: sarsıntı, logos: bilim) Depremi oluşumunu jeolojik olarak inceleyen ve depremin gözle görünen etkilerini inceleyen bilim dalına jeoloji denir. Deprem dalgalarının özelliklerini, yayılma mekanizmalarını, etkileri gibi konuları ilgili aletlerden yararlanarak inceleyen bilim dalına jeofizik denir. Makro sismik etütler yapan jeoloji ve mikro sismik etütler yapan jeofizik bilim dalları, sismoloji ile birlikte düşünüldüğünde deprem üzerine anlamlı çalışmalar oluşturulabilir.

Depremler, tektonik depremler, volkanik depremler ve çöküntü depremler olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. Tektonik depremler, yerkabuğu levhalarının hareketlenmeleri sonucu meydana gelirler. Tektonik kuvvetlerin oluşturduğu gerilmeler sonucunda kabukta oluşan kırıkların (fayların) başlangıç noktalarından enerji boşalıp sarsıntı halinde ortaya çıkmasıdır. Yer sarsıntılarının çoğu bu biçimde meydana gelir. Volkanik depremler, magma tabakasının yerkabuğunun ince bölgelerinden yol bularak enerji boşalmasıyla meydana gelen depremlerdir. knt depremler, boşluklu veya oyuklu bir yapıya sahip yer kabuğunun üzerindeki ktle kırılarak ker ve çöküntü depremi olarak adlandırılan yer sarsıntılarına neden olur [4].

1.2.1 Depremiñ Şiddeti ve büyüklüğü

Depremiñ etkisiñin ölçüsü olarak tanımlanan deprem Şiddeti, bölgenin tektonik (jeolojik)  zelliklerine, deprem dalgalarının geçtiği zemin ve kaya tabakalarının özelliklerine, depremde ortaya çıkan enerjiñin büyüklüğüne, deprem odağının derinliğine, üst merkeze olan mesafeye ve yapıların davranışına bağlı olarak etki eder.

Gerek krenler gerekse diğer yapılarda olduğu gibi kütlesi olan tüm yapılarda depremler sonucu atalet kuvvetlerinin oluşmasına sebep olurlar. Bu kuvvete mukavemet gösteremeyen yapılar da doğal olarak hasar görürler, yıkılırlar.

Deprem Şiddeti derecelendirme çalışmaları farklı bilim adamları tarafından hazırlanmış olsa bile 1964 yılında Medvedev Sponhever Karnik ‘in baş harflerinden oluşan MSK deprem Şiddeti cetveli ‘‘UNESCO H k metler arası deprem mühendisliği ve sismoloji konferansnda’’ uluslar arası deprem Şiddeti cetveli olarak kabul edilmiştir. MSK deprem Şiddeti cetvelinde depremin insan,  vre, tüm yapı ve arazi Őekilleri  zerindeki etkilerin deprem derecelerini belirtir. Roma rakamı ile I den XII ‘ye karar artan deprem Şiddeti derecesi bulunur.  elik yapıların hasar almaya başladığı VIII ve üzeri deprem Şiddeti dereceleri, krenin sismik analizi için önem arz eder.

Deprem Şiddeti belirlenmiş bir alan için hasar durumunu göstersede bu alan dar yada geniş olabilir. Deprem büyüklüğü, deprem esnasında meydana gelen kinetik enerji dönüşümü değeridir. Bu değer doğrudan ölçülemediğinden yer titreşimlerini kaydeden sismograf cihazları kullanılır. Bu cihazdan elde edilen veriler Richter tarafından oluşturulmuş bir  l  klendirme sistemiyle okunur.

Denklem 1.1’ de, WOOD-ANDERSON sismografında 2800 kat b y lt lm ş, 0,8 s periyotunda ve %80 sönüm oranındaki en büyük genliği A ve büyüklüğü sıfır kabul edilen referans depremin aynı Şekilde  l  len A₀ genliğini göstermektedir.

Çizelge 1.2’ de MSK deprem Şiddeti cetveli ile Richter büyüklükleri karşılaştırılmıştır. Buna göre krenlerin minimum 6.2’ lik bir depreme karşı dayanıklı olması gerekir [4].

$$M = \log\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (1.1)$$

Çizelge 1.2 : Deprem şiddeti ve büyüklüğü ilişkisi.

MSK Deprem Şiddeti	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Deprem Büyüklüğü	4	4,5	5,1	5,6	6,2	6,6	7,3	7,8	8,4

1.2.2 Deprem dalgaları

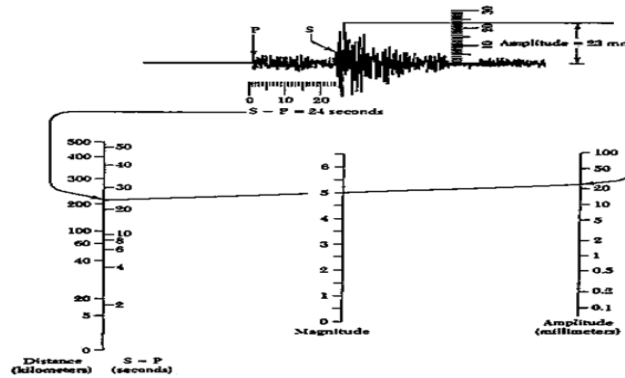
Yeryüzü tabakasının incelendiği bölgelerde meydana gelen depremlerden, ortamın elastikiyetiyle ilişkili sismik dalga hareketleri meydana gelir. Bu dalgalar frekansa bağlı olarak değişebilir. Depremi meydana getiren faylanma ile farklı biçimlerde sismik dalgalar meydana gelir. Bunlar;

Primier (P) dalgalar, ses dalgalarını andıran boyuna dalgalardır. Titreşim hareketi, dalgaının yayılma doğrultusunda olan yüksek hızlı (7-8 km/s) dalgalardır.

Sekonder (S) dalgalar, P dalgalarına göre daha yavaş (3.45-4.10 km/s) ancak genlikleri büyük enine (kayma) dalgalarıdır. P dalgalarına göre gözlem noktasına daha geç ulaşırlar.

Yüzey (L, R) dalgaları, P ve S dalgalarının yanısıra yeryüzüne yakın yayılan en büyük genlikli, yıkıcı etkileri olan ve gözlem noktasına en geç ulaşan yüzey dalgalarıdır.

Richter Büyüklük ölçümünde P ve S deprem dalgaları gösterilir (Şekil 1.3).

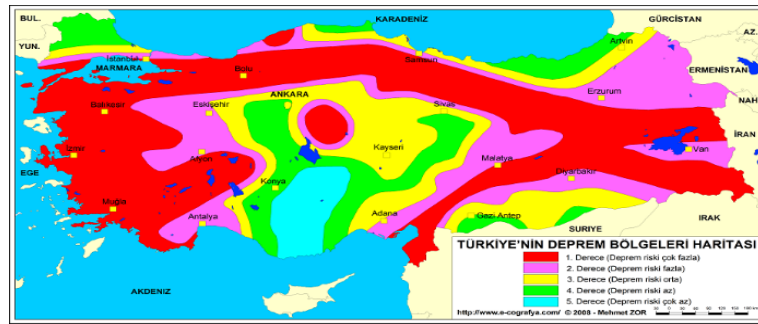


Şekil 1.3 : Bir depremin Richter büyüklüğünde ölçümü.

Deprem dalgaları tıpkı ses dalgaları gibi yansımaya uğrarlar. Bunun nedeni yerkabuğunun tabakalı olmasından kaynaklanır. P dalgasının boyuna ve enine yansımalarına göre PP ve PS yansımada dalgaları oluşur. Benzer bir biçimde S dalgasının enine ve boyuna yansımalarına göre SS ve SP yansımada dalgaları oluşur [4].

1.3 Türkiye Sismik Haritası

1996 Yılında yayımlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası 'nda, beş bölge belirlenmiştir (Şekil 1.4). Bu bölgeler, şiddeti azalan sıra ile 1., 2., 3., 4. derece deprem bölgeleri ve depremsiz ya da çok az olarak adlandırılan 5. derece deprem bölgesidir. Çelik yapıların deprem hesabı için kullanılan standartlarda sismik şiddet katsayıları sismik bölgelere göre ayrılmıştır. Bu bölgeler, şiddeti artan sıra ile I (yok), II (düşük), III (orta), IV (büyük) ve V (çok büyük) biçimindedir. Richter büyüklüğüne göre Türkiye deprem bölgeleri gösterilmiştir (Çizelge 1.3).



Şekil 1.4 : Türkiye deprem haritası

Deprem hesaplamalarında yapıların zemine (temele) ankastre olarak mesnetlendiği kabul edilir. Deprem hesabı yapılan yapının taşıyıcı sisteminin davranışına zeminin etkileri ihmal edilir. Bu durumda yüksek yapılar, su kuleleri, bacalar, nükleer reaktörler ve krenler gibi yapıların güvenli olması için tasarımda zemin-yapı davranışını değişik şekilde etkiler. Çelik yapıların deprem hesabı için kullanılan standartlarda zemin türleri yumuşak, orta ve sert olarak adlandırılmıştır.

Zemin-yapı etkileşiminde yapılan araştırmalar sonucu yapının titreşim periyotlarının büyüdüğü ve yapı taban kesme kuvvetinde ve devrilme momentinde bir azalma oluşabildiği görülmektedir. Bu çalışmada krenin zemin türü seçimi, kren sismik hesaplarının yapıldığı bölümde gösterilmiştir [4].

Çizelge 1.3 : Deprem Bölgeleri ve Richter büyüklüğü ilişkisi.

Türkiye Deprem Bölgeleri	5.Derece Deprem Bölgesi	4.Derece Deprem Bölgesi	3.Derece Deprem Bölgesi	2.Derece Deprem Bölgesi	1.Derece Deprem Bölgesi
Richter Büyüklüğü	4,0 ve altı	4,0 – 5,1	5,1 – 5,6	5,6 – 6,2	6,2 ve üstü

2. ÇELİK YAPILARDA SİSMİK HESAPLAR

2.1 Mod Birleştirme Yöntemi (Davranış Spektrumu)

Belirli bir sönüm oranı ve deprem verileri sabit tutulmak üzere, doğal periyotları belirli aralıklarla değişen tek serbestlik dereceli doğrusal sistemlerin maksimum (spectral) ivmelerini düşey ekseninde ve doğal titreşim periyotlarını yatay ekseninde belirten diyagram (ivme spektrumu) kullanılarak yapısal analizlerin anlatıldığı ünite de dinamik deprem analizi gerçekleştirilmiştir. Kren sistemini mod birleştirme yöntemi ile adım adım hesaplayacak olursak;

1.Adım, sistemin master noktası kütle merkezinden seçilir.

2.Adım, kütle atalet momentleri hesabı denklem 2.1’de gösterildiği gibidir. Burada I_{xg} ; kat döşemesinin xg eksenine etrafındaki alan atalet momentini, I_{yg} ; kat döşemesinin yg eksenine etrafındaki alan atalet momentini, A_i ; i ’inci katın alanını, m_i ; i ’inci katın kütlelerini (w_i/g) ve G ; kütle merkezini gösterir.

$$m\theta_i = (I_{xg} + I_{yg}) \frac{m_i}{A_i} \quad (2.1)$$

3.Adım, i ’inci moda karşılık gelen etkin kütle oranları denklem 2.2’de gösterildiği gibidir. Buna göre toplam etkin kütle denklem 2.3’de gösterilir.

$$M_{ei} = \frac{\alpha_i^2}{M_i} \quad (2.2)$$

$$\sum M_{ei} = \frac{\alpha_1^2}{M_1} + \frac{\alpha_2^2}{M_2} + \dots + \frac{\alpha_i^2}{M_i} \quad (2.3)$$

Burada i ’inci mod için katılım faktörü denklem 2.4’de gösterildiği gibidir. Modal kütleyi (M_i) sembolü ile gösterirsek, mod vektörlerini $\{\phi_i\}$, denklem 2.5’de gösterildiği gibi normalize edilir.

$$\alpha_i = \{\phi_i\}^T [M] \{r\} \quad (2.4)$$

$$M_i = \{\phi_i\}^T [M] \{\phi_i\} = 1 \quad (2.5)$$

$$\sum M_{ei} = \sum_{i=1}^Y \alpha_i^2 \quad (2.6)$$

Belirlenen mod sayısı (Y) sembolü ile gösterilir. Bu durumda etkin kütle oranı denklem 2.7' de gösterilir ve m_j ; j'inci katın kütlesi olarak sembolize edilmiştir.

$$\frac{M_{ei}}{M_T} = \frac{\alpha_i^2}{\sum_{j=1}^N m_j} \quad (2.7)$$

4.Adım, her modun kütle oranları toplamının %90' dan büyük olacak şekilde hesaplanan yeterli titreşim modu sayısı (Y) bulunur.

5.Adım, spektral ivme değerlerinin bulunması için r' inci mod için ivme spektrumu denklem 2.9' de gösterilmiştir. Burada $A(T_r)$; r' inci serbest titreşim modu için spektral ivme katsayısı, $R_a(T_r)$; r' inci serbest titreşim modu için deprem yükü azaltma katsayısı ve g; yerçekimi ivmesidir (9,81 m/s²).

6.Adım, yapının spektrum analizi gerçekleştirilerek deplasmanlar ve elemanların iç kuvvet bileşenlerine her moddan gelen maksimum katkılar belirlenir ve uygun bir birleştirme yöntemi kullanılarak (RMS yada CQC) yapıdaki deplasmanları ve elemanlardaki uç kuvvetleri elde edilir.

T_s/T_r oranının %80' den küçük olması koşuluyla, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Kareleri Toplamının Kare Kökü kuralı (RMS) kullanılabilir. Verilen koşulun sağlanamaması halinde birleştirme yöntemlerinden Tam Karesel Birleştirme (CQC) kuralı uygulanmalıdır. RMS yöntemi, modal değerlerin birbirine yakın frekanslı olması durumunda doğru sonuç veremez, CQC yöntemi bu hatayı gidermek için geliştirilmiştir. CQC kuralında, çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınır.

7.Adım, alt sınır değerleri hesaplanan iç kuvvet ve yerdeğiştirme verilerinin bulunması için mod birleştirme yöntemi ile bulunan bina toplam deprem yükü (V_t) elde edilir. $V_{tB} < \beta V_t$ olması durumunda mod birleştirme yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri denklem 2.10' de gösterilmiştir.

$$\sum_{i=1}^Y \left\{ \frac{\alpha_i^2}{M_T} \right\} \geq 0,90 \quad (2.8)$$

$$S_{pa}(T_r) = \frac{A(T_r).g}{R_a(T_r)} \quad (2.9)$$

$$B_D = (\beta V_t / V_{tB}) B_B \quad (2.10)$$

Denklem 2.10’de B_D , büyütülmüş yerdeğiştirme veya iç kuvveti ve B_B , mod birleştirme yönteminden elde edilen herhangi bir yer değiştirme veya iç kuvveti göstermektedir.

Deprem hesabı yapılacak bir sistemde burulma düzensizlikleri, komşu katlar arasında rijitlik düzensizlikleri veya taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliklerinden en az birinin bulunması durumunda $\beta=1$, olamadığı durumlarda $\beta=0,9$ alınmalıdır [5].

2.2 Eşdeğer Deprem Yükleri Yöntemi

Doğrusal elastik ya da doğrusal olmayan (artımsal) hesap yöntemleri kullanılarak eşdeğer deprem yüklerine bağlı yapısal analizlerin gerçekleştirildiği deprem hesabı yöntemidir. Yapısal analizlerin anlatıldığı ünite de statik deprem analizi bu yöntem sonucu elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Krenin katlı bir bina üzerine konumlandığını varsayarak eşdeğer deprem yükü yöntemini adım adım hesaplarsak:

1. Adım, sistemin master noktası sistemin kütle merkezinden seçilir.

2. Adım, katlara etkiyen fiktif yükler denklem 2.11’ de gösterildiği gibi hesaplanır. Burada w_i , i’inci kat ağırlığı olmaktadır ve denklem 2.12’ de gösterilmektedir. H_i ise yerden i’inci kata kadar olan yüksekliktir. Denklem 2.12’ de G_i , binanın i’inci katındaki toplam sabit yükü göstermektedir. Q_i , binanın i’inci katındaki toplam hareketli yükü göstermektedir. Hareketli yük katılım katsayısı n ile belirtilmektedir ve binanın kullanım amacına göre belirlenir (Çizelge 2.1).

3. Adım, elde edilen fiktif yükler (F_{fi}), seçilen deprem doğrultusunda, yapının kat kütle merkezlerine etki ederek kuvvet doğrultusundaki deplasmanlar (dti) elde edilir.

$$F_{fi} = \frac{w_i \cdot H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j \cdot H_j)} \quad (2.11)$$

$$w_i = G_i + n \cdot Q_i \quad (2.12)$$

Çizelge 2.1 : Hareketli yük katılım sayısı.

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

4. Adım, binanın birinci doğal titreşim periyodu (T_1) hesabı yapılmalıdır. Doğal titreşim periyodu ölçülen toplam bina yüksekliğinin (H_N), 25 metre ve altı olması durumunda ampirik yöntemle hesaplanır. Buna göre;

$$T_1 \cong T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4} \quad (2.13)$$

C_t katsayısı denklem (2.14) 'de gösterilmiştir.

$$C_t = \frac{0,075}{A_t^{1/2}} \leq 0,05 \quad (2.14)$$

$$A_t = \sum A_{WJ} \left[0,2 + \left(\frac{I_{WJ}}{H_N} \right)^2 \right] \quad (2.15)$$

Binanın temel üzerindeki ilk katında j'inci perdenin brüt enkesit alanı (A_{Wj}) sembolü ile gösterilir. Binanın temel üzerindeki ilk katında j'inci perdenin deprem doğrultusunda çalışan uzunluğu I_{Wj} sembolü ile gösterilir. Ayrıca denklem 2.16' de gösterilen koşul sağlanmalıdır.

Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda C_t değeri 0,07 , taşıyıcı sistemi sadece çelik parçalardan oluşan binalarda C_t değeri 0,08 diğer tüm binalarda ise C_t değeri 0,05 alınacaktır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu Rayleigh oranı ile hesaplanabilir. Ayrıca birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, zeminden toplam bina yüksekliğinin (H_N) , 25 metreden fazla olması durumunda. T_1 'in Rayleigh oranı ile hesaplanması gerekmektedir. Buna göre Rayleigh oranı denklem (2.17)' de gösterilmiştir.

$$\frac{I_{Wj}}{H_N} \leq 0,9 \quad (2.16)$$

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i \cdot d_{fi}^2)}{\sum_{j=1}^N (F_{fi} \cdot d_{fi})} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

Ampirik yöntemle bulunan periyodu T_{1A} 'nın 1,0 saniyeden büyük olması durumunda, Rayleigh oranı ile elde edilen periyodun en büyük değeri, T_{1A} 'nın 1,3 katından büyük olmaması gerekir.

5. Adım, toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) hesabı denklem 2.18' de gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,1 \cdot A_o \cdot I \cdot W \quad (2.18)$$

Denklem 2.19'de gösterildiği gibi yapının toplam ağırlığı (W) sembolü ile gösterilmiştir.

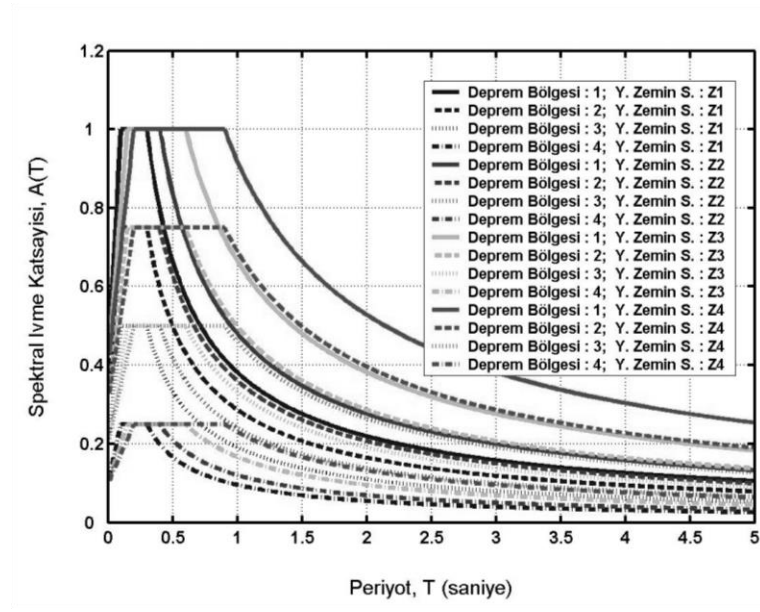
$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (2.19)$$

Spektral ivme katsayısı $A(T_i)$, herhangi bir i'inci periyot için, deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılan ve %5 sönüm oranı için tanımlanmış tasarım ivme spektrumu yer çekimi ivmesi g ' ye bölünmesine karşı gelen denklem 2.20' de gösterilmiştir.

Spektral ivme katsayısı $A(T_i)$, etkin yer ivmesi katsayısı (A_o), bina önem katsayısı (I) çizelgeden bakılır ve spektrum katsayısı $S(T_i)$ 'ye bağlıdır (Çizelge 2.2). Spektral ivme katsayısı, ivme grafikleri gösterilmiştir (Şekil 2.1).

Burada A_o , maksimum deprem ivmesinin (g)'ye olan oranıdır (Çizelge 2.3). Bu katsayı, deprem tehlikesinin bölgedeki durumunu gösterir.

$$A(T_i) = A_o \cdot I \cdot S(T_i) \quad (2.20)$$



Şekil 2.1 : Türkiye deprem yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumlarının farklı deprem bölgeleri ve farklı zemin sınıfları için gösterimi.

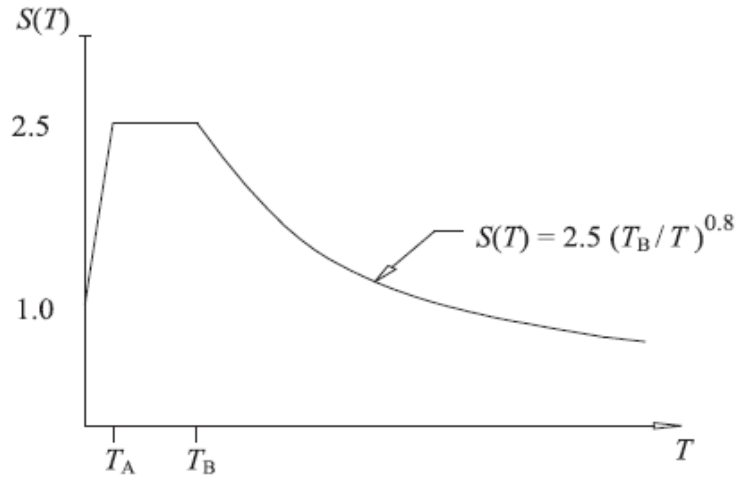
Çizelge 2.2 : Bina Önem Katsayısı.

Binanın kullanım amacı veya türü	Bina Önem Katsayısı (I)
Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a)Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilkyardım ve afet planlama istasyonları) b)Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar.	1,5
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu değerli eşyaların saklandığı binalar a)Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b)Müzeler	1,4
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları vb.	1,2
Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar,işyerleri,oteller,bina türü endüstri yapıları vb.)	1

Çizelge 2.3 : Etkin yer ivmesi katsayısının deprem bölgelerine göre ilişkisi.

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,4
2	0,3
3	0,2
4	0,1

Spektrum katsayısı $S(T_i)$, yerel zemin koşullarına ve binanın i 'inci doğal periyodu T_i 'ye bağlı olarak aşağıdaki denklemlerde ve grafikte gösterilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Tasarım ivme spektrum grafiği.

Zemin özelliklerine bağlı zemin gruplandırılmaları gösterilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : Zemin grupları.

Zemin Grubu	Tanımlama
A	Ayrışmamış sağlam kayalar, çok sıkı çakıl ve kum, sert kil ve siltli kil
B	Ayrışmış ve çatlaklı kayalar, sıkı çakıl ve kum, çok katlı kil ve siltli kil
C	Yumuşak, süreksiz düzlemlili çok ayrışmış kayalar: orta sıkı çakıl ve kum, katı kil ve siltli kil
D	Yeraltı su seviyesi yüksek olan yumuşak alüvyon tabakaları, gevşek kum, yumuşak kil ve siltli kil

$$S(T_i) = 1 + 1.5 T_i / T_A \quad (0 \leq T_i \leq T_A) \quad (2.21)$$

$$S(T_i) = 2.5 \quad (T_A \leq T_i \leq T_B) \quad (2.22)$$

$$S(T_i) = 2.5 (T_B / T_i)^{0.8} \quad (T_i \geq T_B) \quad (2.23)$$

T_A ve T_B ifadeleri spektrum karakteristik periyotlarıdır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : Spektrum karakteristik periyotlarının zemin sınıfı ilişkisi.

Zemin Sınıfı	Tanımlama	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	A grubu zeminler, en üst tabaka kalınlığı 15 m'den az B grubu zeminler	0,10	0,30
Z2	En üst tabaka kalınlığı 15 m'den fazla B grubu zeminler, en üst tabaka kalınlığı 15 m'den az C grubu zeminler.	0,15	0,40
Z3	En üst tabaka kalınlığı 15 m ile 50 m arasındaki C grubu zeminler, en üst tabaka kalınlığı 10 m 'den az D grubu zeminler.	0,15	0,60
Z4	En üst tabaka kalınlığı 50 m'den fazla C grubu zeminler, en üst tabaka kalınlığı 10 m'den fazla D grubu zeminler.	0,20	0,90

Deprem yükü azaltma katsayısı R_a , yapı ağırlığının spektral ivme katsayısıyla çarpılması sonucu elde edilen toplam deprem yükü W . $A(T_i)$ yapının elastik davranmasıyla oluşmaktadır. Aslında yapı elasto-plastik bir davranış göstermekte ve bu nedenle elastik davranışa göre yapı daha büyük taşıma kapasitesine sahip olmaktadır.

Deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tablosunda belirtilen bina çeşitlerinin seçimine bağlı seçilir (Çizelge 2.6).

R_a katsayısı, deprem yükünü düşürerek doğrusal elastik davranışı ele alır.

Buna göre deprem yükü azaltma katsayısı aşağıdaki denklemlerde ve grafikte gösterilmiştir (Şekil 2.3).

$$R_a(T_i) = 1,5 + (R - 1,5)T_i / T_A \quad (0 \leq T_i \leq T_A) \quad (2.24)$$

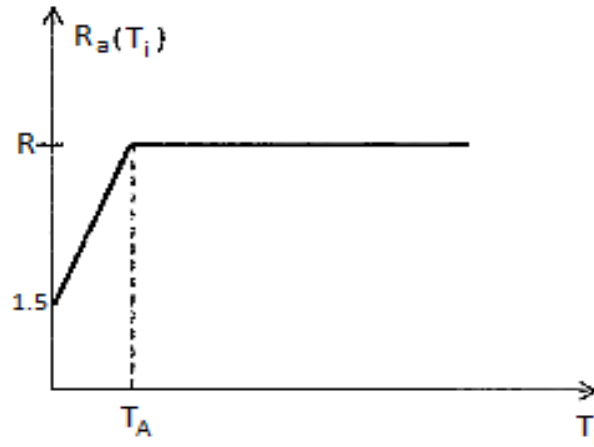
$$R_a(T_i) = R \quad (T_i > T_A) \quad (2.25)$$

Çizelge 2.6 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı.

	Süneklik Düzeyi	Süneklik Düzeyi
Bina Taşıyıcı Sistemi	Normal Sistemler	Yüksek Sistemler
Yerinde Dökme Betonarme Binalar:		
Deprem yüklerinin tamamı çerçevelerle taşınan binalar.	4	8
Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.	4	7
Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.	4	6
Deprem yüklerinin, çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.	4	7
Prefabrike Betonarme Binalar:		
Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.	3	6
Deprem yüklerinin tamamının, kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.	-	5
Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdeler ile taşındığı binalar.	-	4
Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.	3	5

Çizelge 2.6 (devam): Taşıyıcı system davranış katsayısı.

	Süneklik Düzeyi	Süneklik Düzeyi
Bina Taşıyıcı Sistemi	Normal Sistemler	Yüksek Sistemler
Çelik Binalar:		
Deprem yüklerinin tamamının, çerçevelerle taşındığı binalar.	5	8
Deprem yüklerinin tamamının, kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.	4	6
Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar:		
a-Çaprazların merkezi olması durumu	3	-
b-Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
c-Betonarme perde durumu	4	6
Deprem yüklerinin, çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar:		
a-Çaprazların merkezi olması durumu	4	-
b-Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
c-Betonarme perde durumu	4	7



Şekil 2.3 : Deprem yükü azaltma katsayısı grafiği.

6. Adım, katlara etki eden eşdeğer deprem yükü denklem 2.26' da gösterilmiştir. Burada ΔF_N , yapının en üst bölgesine uygulanacak ek yatay doğrultulu yüküdür ve T_1 ' e bağlıdır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (2.26)$$

$$\Delta F_N = 0,07.T_1.V_t \leq 0,2.V_t \quad (2.27)$$

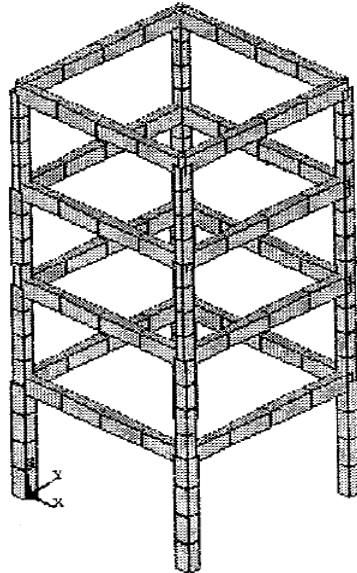
Önceki işlem adımında belirtilen toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen yatay kuvvetlerin toplamı olarak denklem 2.28' de gösterilmiştir.

Temelden ölçüm alınarak toplam bina yüksekliğinin H_N , 25 metreye eşit veya küçük olması durumunda, yapının en üst bölgesinde meydana gelen yatay doğrultulu ek yük, $\Delta F_N = 0$ kabul edilir [5].

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.28)$$

2.2.1 Eşdeğer deprem yükleri hesabı

Şekil 2.4'de görülen 4 katlı bir sistem olacak şekilde krenin eşdeğer deprem yükü hesabını yapacak olursak;



Şekil 2.4 : 4 Katlı eşdeğer deprem yükü hesabı modeli.

Sistemin sabit yükleri;

$$G_1=790 \text{ Ton} \quad (2.29)$$

$$G_2=790 \text{ Ton} \quad (2.30)$$

$$G_3=790 \text{ Ton} \quad (2.31)$$

$$G_4=790 \text{ Ton} \quad (2.32)$$

Sistemin hareketli yükleri;

$$Q=40 \text{ Ton} \quad (2.33)$$

Elastisite modülü;

$$E = 2,80 \times 10^6 \text{ ton/m}^2 \quad (2.34)$$

Poisson oranı;

$$\nu = 0,3 \quad (2.35)$$

Kat sayısı;

$$N = 4 \quad (2.36)$$

Bina önem katsayısı (çizelge 2.2) ;

$$I = 1,5 \quad (2.37)$$

Deprem bilgileri için deprem bölgesi; 1'inci bölge, etkin yer ivmesi katsayısı,

$$A_0 = 0,4 \quad (2.38)$$

Yerel zemin sınıfı; Z2, spektrum karakteristik periyotları,

$$T_A = 0,15 \text{ saniye} \quad (2.39)$$

$$T_B = 0,4 \text{ saniye} \quad (2.40)$$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı,

$$R = 8 \quad (2.41)$$

Hareketli yük katılım katsayısı,

$$n = 0,8 \quad (2.42)$$

Kat ağırlıkları hesabı aşağıdaki denklemlerde görülmektedir ayrıca kat ağırlıkları sonuçları tablodan görülmektedir (Çizelge 2.7).

$$w_i = G_i + n.Q_i \quad (2.43)$$

$$\sum m_i d_{fi}^2 = 8,1 \times 10^{-5} \quad (2.44)$$

$$\sum F_{fi} d_{fi} = 5,1 \times 10^{-4} \quad (2.45)$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\left(\frac{\sum m_i d_{fi}^2}{\sum F_{fi} d_{fi}} \right)} = 2,5s \quad (2.46)$$

$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{A_t}} \leq 0,05 \quad (2.47)$$

$$A_t = \sum A_{wj} \left[0,2 + \left(\frac{I_{wj}}{H_N} \right)^2 \right] \quad (2.48)$$

$$\frac{I_{wj}}{H_N} \leq 0,9 \quad (2.49)$$

Olmalıdır. T_1 ampirik yöntemle hesaplanacak olursa,

$$T_1 = T_{1A} = C_t H_N^{3/4} = 0,05.14^{3/4} = 0,362s < 1s \quad (2.50)$$

Çizelge 2.7 : Kat ağırlıkları.

Kat No	G_i (Ton)	Q_i (Ton)	w_i (Ton)
4	790	40	822
3	790	40	822
2	790	40	822
1	790	40	822

Fiktif yüklerin hesap sonuçları görülmektedir (Çizelge 2.8)

Çizelge 2.8 : Fiktif yükler.

Kat No	$w_i(\text{Ton})$	$H_i(\text{m})$	$w_i H_i (\text{Ton.m})$	$F_{fi}(\text{Ton})$
4	822	14	11508	0,4
3	822	10,5	8631	0,3
2	822	7	5754	0,2
1	822	3,5	2877	0,1
Toplam	$\sum w_i = 3288$	$\sum H_i = 35$	$\sum w_i H_i = 28770$	$\sum F_{fi} = 1$

Rayleigh oranı ile T_1 'in hesap sonuçları görülmektedir (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.9 : Rayleigh oranı ile T_1 'in hesabı.

Kat No	$m_i(w_i/g)$ (ton.s ² /m)	F_{fi} (Ton)	d_{fi} (m)	$m_i d_{fi}^2$ (Ton.s ² .m)	$F_{fi} d_{fi}$ (Ton.m)
4	83,79	0,4	0,00057	0,000027	0,00023
3	83,79	0,3	0,00052	0,000022	0,00015
2	83,79	0,2	0,00047	0,000018	0,00009
1	83,79	0,1	0,00042	0,000014	0,00004

$T_{1A} < 1s$ olduğundan, Rayleigh oranı ile bulunan periyot hesaplarında kullanılabilir.

$$T_B = 0,4 \quad (2.51)$$

$$T = 1,14 \quad (2.52)$$

$$S(T_1) = 2,5(T_B / T)^{0,8} = 1,083 \quad (2.53)$$

$$A(T_1) = A_0 . I . S(T_1) = 0,4.1.5.1,083 = 0,6498 \quad (2.54)$$

$$V_t = \sum w_i \cdot \frac{A(T_i)}{R_a(T_i)} \geq 0,1 . A_0 . I . W \quad (2.55)$$

$$267,07 \geq 0,1.0,4.1.5.3288 = 197,28 \text{Ton} \quad (2.56)$$

Yapı yüksekliği 25 metreden küçük olduğundan,

$$\Delta F_N = 0 \quad (2.57)$$

olarak kabul edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.58)$$

Eşdeğer deprem yükleri denklemi,

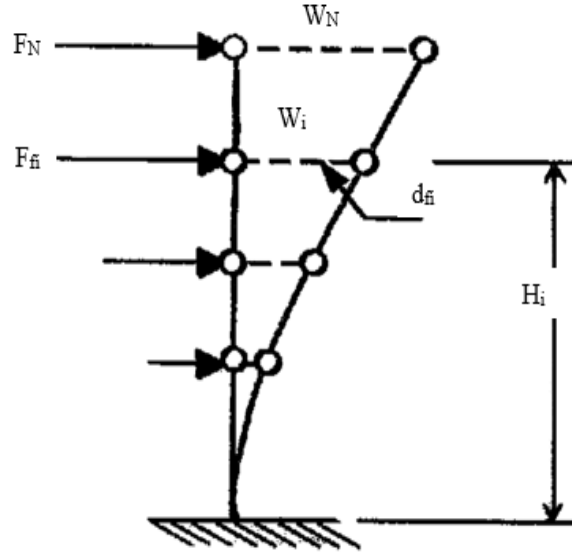
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (2.59)$$

Biçiminde yazılır ve katlara göre çizelge 2.10' da denklemin sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 2.10 : Eşdeğer kat deprem yükleri.

Kat No	F_i (Ton)
4	106,828
3	80,121
2	53,414
1	26,707

Sisteme etkiyen deprem yükleri gösterilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Sistemin deprem yükleri dağılımı.

3. GEZER KÖPRÜLÜ KREN ELEMANLARI

3.1 Ana Kiriş

Adı üzerinde taşıma görevi üstlenen ana taşıma elemanıdır (Şekil 3.1). Yaklaşık 10 ton ve 20 m açıklığa kadar düşük taşıma kapasitelerinde I-profil taşıyıcı kirişler kullanılırken, daha yüksek taşıma kapasiteleri gerektiğinde çift kirişler ve kutu profiller kullanılmaktadır. Arabalar, I-profi kirişlerin alt kenarlarında bulunan raylar üzerinde hareket ederken, kare profil kirişlerin üstünde bulunan raylar üzerinde hareket ederler [6].



Şekil 3.1 : Gezer köprülü krenin ana kirişi.

3.2 Baş Kiriş

Baş kirişi, iki noktadan destekli ve iki taraflı bir konsol kiriştir (Şekil 3.2). Ana kirişlerin baş ve sonuna bağlanırlar ve ana kirişin hareketini sağlayan raylar üzerine oturtulurlar. Kren tekerleklerini yataklayan, ana kirişlerin bağlanması amacıyla, baş kiriş, ana kiriş hafif yükler için C-profil, ağır yükler için kutu profil biçiminde olabilirler. Uzunluğu, kren tekerlekleri aralığı ile arabanın (kedinin) tekerlek aralığına ve platformların genişliklerinin toplamına bağlı olarak belirlenmektedir. Kren tekerlekleri arası mesafenin kren açıklığına oranı arttıkça kren rayları üzerindeki eğik hareket açısı azalmaya başlar. Malzeme sarfiyatının optimum olması amacıyla baş kiriş uzunluğu iyi tasarlanmalıdır. Baş kirişe ana kirişin bağlantı yerinden yükler tesir etmektedir. Bağlantı yerleri dik ve yatay kuvvetleri karşılamak

durumundadır. Baş kirişe etkiyen statik yükler, dik yönlü ve eğilme gerilmelerine neden olan yüklerdir. Bu yükler kren sisteminin kütlesini oluşturmaktadır. Baş kirişe etkiyen dinamik yükler, araba kütlesinin ve taşınan yükün kütlesinin, araba hareketleri sonucu meydana gelen atalet kuvvetleridir. Baş kirişe etkiyen yatay kuvvetler, arabanın frenlemesinden baş kirişte meydana gelen yatay bir fren kuvvetidir. Krenin eğik hareketi ile tekerlek kenarlarının raylara sürtünmesiyle yatay yönlü sürtünme kuvvetleri oluşmaktadır [6].



Şekil 3.2 : Gezer köprülü krenin baş kirişleri.

3.3 Arabalar (Kediler)

Arabalar kaldırma sistemini oluşturan makara takımı, halat tamburu, denge makarası, dişli kutusu, fren ve tahrik motorundan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Arabalar yada diğer adıyla kediler ana kiriş üzerine yerleştirilen raylar boyunca tekerlekler üzerinde hareketlerini sağlarlar.



Şekil 3.3 : Gezer köprülü kren arabası.

Araba tasarımında, bütün parçaları kolay montajlanabilmeli, olabildiğince hafif ve kompakt olmalı, üzerine gelen yükleri tekerleklere eşit dağıtabilmeli, bakıma uygun

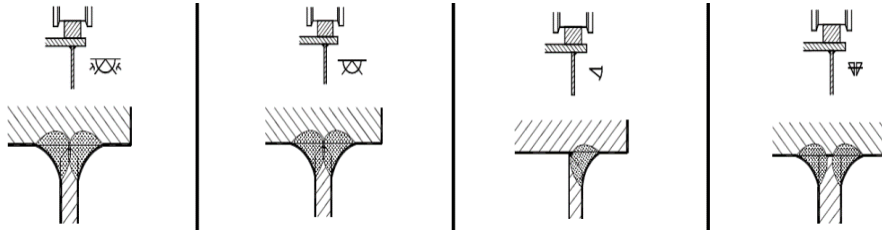
kolay sökülüp takılabilen frenlere, tekerleklerle ve halat tamburuna sahip olmalı ve bütün parçaları işletme yönünden istenilen emniyet kriterlerini sağlamalıdır. Araba makara takımları 30 tona kadar 4 halatlı veya 100 tona kadar 8 halatlı şekilde olabilirler [6, 7].

3.4 Kren Parçaları İmalatı

İstenilen kalınlık ve uzunlukta sacların laser veya plazma kesim tezgahlarıyla krenin yassı parçaları kesilerek elde edilir. Bu işlem, bilgisayar destekli çizim datalarının, kesim yapan tezgahta okutulmasıyla gerçekleştirilir. Krende tekerlek gibi kren yürüme takımları ve benzer parçaları (makaralar) döküm yoluyla imal edilebilir ve yüzey temizleme, ek işlemler talaşlı imalatla gerçekleştirilebilir.

Kutu profilli ana kirişlerin kaynak konstrüksiyonunda ray altına bağlanan yan plaka kaynağı gerçekleştirilir. Diğer kaynak bağlantılarında bilinen köşe kaynağı uygulaması gerçekleştirilir.

Kaynaklı bağlantılarda çentik faktörü önem arz eder. Çentik faktörü, yükleme grubu ve malzeme türüne göre kirişin dinamik emniyetli mukavemet değeri DIN 15018 'de bulunan tablodan okunur. Kutu profil kirişlerin kaynaklı birleştirmelerinde seçilebilen çentik gruplarıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Çift kirişte soldan sağa sırasıyla K2 (K kaynak ağızlı), K3 (K kaynak ağızlı), K4 (yarım V kaynak ağızlı), K4 (kaynak ağızsız) çentik grupları.

Burada, K2 çentik faktörü; kaynak dikişi, malzemeye K-kaynak ağızı açılarak özel kalitede kaynak dikişi yapılacağını gösterir. K3 çentik faktörü, K-kaynak ağızlı normal kaynak dikişi yapılacağını gösterir. K4 çentik faktörü, en ağır yükleme grubu olan B6 yükleme grubu için yarım V-kaynak ağızlı normal kalitede kaynak dikişi yapılacağını gösterir. K4 çentik faktörü ve B6 yükleme grubu için, kaynak ağızı açılmadan normal kalite çift taraflı köşe kaynağı yapılacağını gösterir [8].

4. GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada incelenen çift ana kirişli gezer köprülü krenin, nükleer santrallerde kullanımına uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu bölümde belirtilen veriler, mukavemet hesapları ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde kullanılacaktır.

4.1 Krenin Teknik Özellikleri

Kren modelinin sonlu elemanlar için gerekli olabilecek teknik verileri;

Kren türü, çift ana kirişli gezer köprülü kren.

Kaldırma kapasitesi, maksimum 40 Ton.

Kren yürüme ray açıklığı, 25 metre ve kaldırma yüksekliği, 15 metre.

Yürüme rayı uzunluğu, 150 metre ve araba yürüme hızı, maksimum 32 m/dak.

Kren sisteminde kullanılan malzemeler çizelge 4.1 ve çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : S235JR (EN10025) / St37-2 (DIN 17100) Malzeme özellikleri.

	Alt Değer	Üst Değer
Akma Mukavemeti	235 MPa	-
Çekme Mukavemeti	360 MPa	510 MPa
Uzama Değeri	19,0 %	-

Çizelge 4.2 : S355JR (EN10025) / St52-3 (DIN 17100) Malzeme özellikleri.

	Alt Değer	Üst Değer
Akma Mukavemeti	355 MPa	-
Çekme Mukavemeti	510 MPa	680 MPa
Uzama Değeri	16,0 %	-

4.2 Kren Teknik Özelliklerinin Standartlara Uygun Sıralaması

FEM Sandartları çizelgelerine göre belirlenen kren sisteminin işletme sınıfı;

Yükleme tekrarı sınıfı, U4 için 63000' den büyük n_{max} , kaldırma sayısı 125000' den küçüktür. Yük dağılımı sınıfı, Q4 için 0,5' den büyük k_p , yük dağılım faktörü 1' den küçüktür. İşletme sınıfı, A6 gezer köprülü kren sınıfına uygundur. Ortalama çalışma zamanı sınıfı, V4 ($8 < \text{günlük çalışma saati} < 16$) ve toplam servis zamanı 25000 saattir.

FEM Sandartlarına göre tahrik sistemleri sınıfı için kullanım sınıfı, T4, yük dağılım sınıfı, L4 dır ve tahrik sınıfı, M6 dır.

FEM Sandartlarına göre ekipman sınıfı için ekipman yükleme tekrarı sınıfı, B3, gerilme dağılım sınıfı, P4 ve ekipman sınıfı, E4 dır [9].

DIN 15018 Standartlarına göre yükleme sınıfı için yükleme sınıfı, H ana yük yükleme sınıfıdır.

4.3 Nükleer Santraller için Kaldırma Ekipmanı Yönetmelikleri

Nükleer santraller ve benzeri kritik yük kaldırma görevleri üstlenen tesislerde çalışan sağlığına, halk sağlığına ve çevreye olan zararları minimuma indirmek amacıyla oluşturulan nükleer yönetmelikler bulunmaktadır. Bunlar, NQA-1, 10CFR-50-Ek B, NUREG-0554 ve NUREG-0612 dir. Bunun dışında üretim tesisi için ISO 9001 standardı ve kaynaklı imalat için AWS standartlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

4.3.1 NQA-1 ve 10CFR bölüm 50 ek B standartları

Nükleer güç tesislerinde işletme kalite güvence yönetmeliği olarak ASME tarafından hazırlanan NQA-1 dökümanı, nükleer santrallerde, nükleer malzeme uygulamalarında kullanılan yapıların, sistemlerin ve parçaların kalite güvence standardı olarak düşünülmüştür [10]. NQA-1 ile bağlantılı 10CFR Bölüm 50 Ek B, nükleer güç tesisleri ve yakıt yeniden işleme tesisleri için kalite güvence kriteri olarak hazırlanmıştır [11]. Bu yönetmeliklerin temelinde nükleer güç tesislerinde bulunan yapıları, sistemleri parçaları meydana getiren veya etki eden tasarım, kaldırma, nakletme, depolama, temizleme, yerleştirme, kontrol etme, test etme, bakım yapma, tamir etme, yakıt doldurma ve modifiye etme gibi tesis içi güvenliğe etki eden fonksiyonları kapsar.

4.3.2 NUREG-0554 ve NUREG-0612 standartları

NUREG-0554 standardı, nükleer güç tesislerinde kullanılan krenlerin arızalanmalarını minimuma indirmek için oluşturulmuş bu standartta tasarım kriterleri (konstrüksiyon, maksimum kritik yükler, malzeme özellikleri, sismik tasarım, yapısal yorulma ve kaynak prosedürleri gibi), güvenlik kriterleri (yardımcı sistemler, elektrik kontrol sistemleri ve acil durum onarımları gibi), kaldırma makineleri (fren sistemi, makine şasisi, halat koruması, kaldırma cihazları, kaldırma hızı, makara destekleri gibi), köprü ve araba frenleme kapasitesi ve güvenli duruşlarla ilgili konuları içermektedir. Bunlarla beraber test, önleyici bakım ve krenin tesise nasıl kurulacağı hakkında bilgi vermektedir [12].

Krenin aşınma, aşırı yükleme gibi olumsuzlukları düşünülerek maksimum kritik yük, belirlenenden %15 daha fazla olacak şekilde kren parçaları tasarlanmalıdır. Krenin çalışacağı ortamdaki minimum ve maksimum basınç, maksimum basınç artışı, sıcaklık, nem, korozyon yada tehlikeli koşullar kren ve kaldırma fiksürleri için belirlenmelidir. Her kren yükleme ve boşaltma çevriminde çevrimsel stres meydana gelecektir ve bu durum malzemenin yorulma kırılmasına neden olabilmektedir. Eğer kren, normal işlevinin dışında da kullanıldıysa bu durum kren üzerinde ek bir çevrimsel stres oluşturacağı anlamına gelmektedir. Düşük alaşımlı çeliklerin sıcaklıkları kaynak sırasında ve gerilim giderme ısıtılmasında düzgün bir şekilde kontrol altında tutulmadığında, kaynak hataları (kaynak dikişi malzeme iç yapısında istenmeyen yapıların oluşması) meydana gelmektedir.

Kaynaklar, ön ısıtma sıcaklıkları ve gerilim giderme sıcaklıkları kaynak prosedürüne uygun olarak yapılmalıdır.

Krenler deprem anında çalışıyor, yük kaldırıyor olabilirler. Bu nedenle kren tasarımı, yükü düşürmeden taşıyabilecek, kren köprüsü ve arabası normal yürüme yolunda kalabilecek ve raylardan çıkmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Tasarım kriterlerine göre belirlenen deprem şiddetlerine göre krende acil durum fren sistemi devreye girmeli ve tesisin güvenliği için krenin çalışması kilitlenebilmelidir. NUREG-0612 standardı, nükleer tesislerde taşınan ağır ve tehlikeli yüklerin taşıma sırasında düşmesi ve hasar alması durumunda ortaya çıkabilecek radyoaktif sızıntı ve çevresel felaketleri önlemek amacıyla oluşturulmuştur. Bu standart, yüklerin taşıma sırasında düşme ve yükün hasarlanması riskine karşı alınabilecek ek önlemleri belirtir [13].

5. GEZER KÖPRÜLÜ KRENİN MUKAVEMET HESAPLARI

Çift ana kirişli gezer köprülÜ krenin mukavemet hesapları FEM ve DIN standartlarının yanısıra nükleer santrallerde kullanılan kaldırma ekipmanları için belirlenen NUREG standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. Hesaplamalar sırasında krene etki eden kuvvetler dikkate alınmıştır. Çift ana kirişli gezer köprülÜ krenin başlıca teknik özellikleri;

Kaldırma yükü denklem 5.1' de gösterilmiştir.

$$G_y = 40000 \text{ kg} \quad (5.1)$$

Yerçekim ivmesi denklem 5.2' de gösterilmiştir.

$$g = 9,807 \text{ m/s}^2 \quad (5.2)$$

Kaldırma kuvveti denklem 5.3' de gösterilmiştir.

$$F_y = G_y \cdot g = 392300 \text{ N} \quad (5.3)$$

Köprü açıklığı denklem 5.4' de gösterilmiştir.

$$L_h = 25 \text{ m} \quad (5.4)$$

Arabanın öz ağırlığı denklem 5.5' de gösterilmiştir.

$$F_{ara} = 6000 \text{ kg} \quad (5.5)$$

Arabanın öz ağırlık kuvveti denklem 5.6' da gösterilmiştir.

$$F_{AA} = F_{ara} \cdot g = 6000 \cdot 9,807 = 58842 \text{ N} \quad (5.6)$$

Arabanın tekerlek aks açıklığı denklem 5.7' de gösterilmiştir.

$$L_a = 2 \text{ m} \quad (5.7)$$

Köprü açıklığına bağılı olarak kren kirişindeki emniyetli sehim denklem 5.8' de gösterilmiştir.

$$f_{em} = \frac{L_h}{450} mm \quad (5.8)$$

$$f_{em} = \frac{25000}{450} = 55,5 mm$$

Tekerleklerle gelen kuvvetler;

Tekerlek sayısı denklem 5.9' da gösterilmiştir.

$$n_t = 4 \quad (5.9)$$

$$F_{TD} = \frac{F_y + F_{AA}}{n_t} \quad (5.10)$$

$$F_{TD} = \frac{294210 + 58842}{4} = 88260 N$$

Elastiklik modülü denklem 5.11' de gösterilmiştir.

$$E = 210000 N/mm^2 \quad (5.11)$$

Poisson oranı denklem 5.12' de gösterilmiştir.

$$\mu = 0,3 \quad (5.12)$$

5.1 Ana Kiriş Hesabı ve Boyutlandırılması

Kren kirişi hesaplarında kirişin boyutlandırılmasında kesit atalet momentinin belirlenmesi gerekir. Kesit atalet momentini denklem 5.13' de gösterilmiştir.

$$I_{xger} = \frac{[F_{TD} \cdot (L_k - L_a)]}{48 \cdot E \cdot f_{em}} \cdot [3 \cdot I_k^2 - (L_k - L_a)^2] \quad (5.13)$$

$$I_{xger} = \frac{[88260 \cdot (25000 - 2000)]}{48 \cdot 210000 \cdot 25} \cdot [3 \cdot 25000^2 - (25000 - 2000)^2] = 1,1 \times 10^{10} mm^4$$

Kiriş için uygun görülen kutu profil Şekil 5.1' de görülmektedir. Kutu profile göre kiriş kesitini boyutlandıracak olursak;

$$b_1 = 750 mm \quad (5.14)$$

$$t_1 = 14 mm \quad (5.15)$$

$$h_2 = 1500 mm \quad (5.16)$$

$$t_2=6 \text{ mm} \quad (5.17)$$

$$b_3=750 \text{ mm} \quad (5.18)$$

$$t_3=12 \text{ mm} \quad (5.19)$$

$$h_4=1500 \text{ mm} \quad (5.20)$$

$$t_4=6 \text{ mm} \quad (5.21)$$

$$b_R=50 \text{ mm} \quad (5.22)$$

$$h_R=50 \text{ mm} \quad (5.23)$$

$$b_B=30 \text{ mm} \quad (5.24)$$

Perde değerleri;

Ana kirişlerin her biri 20 adet çelik perde ile bölünecek şekilde dir. Bu durumda perde kalınlıkları ve perde merkezleri arasındaki mesafe;

$$t_{\text{perde}}=5 \text{ mm} \quad (5.25)$$

$$L_{\text{perde}}=1250 \text{ mm} \quad (5.26)$$

Kesit alanları;

$$A_1=b_1.t_1=0,011 \text{ m}^2 \quad (5.27)$$

$$A_2=h_2.t_2=9 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (5.28)$$

$$A_3=b_3.t_3=9 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (5.29)$$

$$A_4=h_4.t_4=9 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (5.30)$$

$$A_R=h_R.b_R=2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (5.31)$$

$$A_{\text{top}}= A_1+ A_2+ A_3+ A_4+ A_R=0,04 \text{ m}^2 \quad (5.32)$$

$$X_1=0,5.b_1=0,375 \text{ m} \quad (5.33)$$

$$X_2=b_B+0,5.t_2=0,033 \text{ m} \quad (5.34)$$

$$X_3=0,5.b_3=0,375 \text{ m} \quad (5.35)$$

$$X_4=b_3-b_B-0,5.t_2=0,717 \text{ m} \quad (5.36)$$

$$X_R=b_3-b_B-0,5.t_4=0,717 \text{ m} \quad (5.37)$$

$$Y_1=0,5.t_1=7 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (5.38)$$

$$Y_2=t_1+0,5.h_2=0,764 \text{ m} \quad (5.39)$$

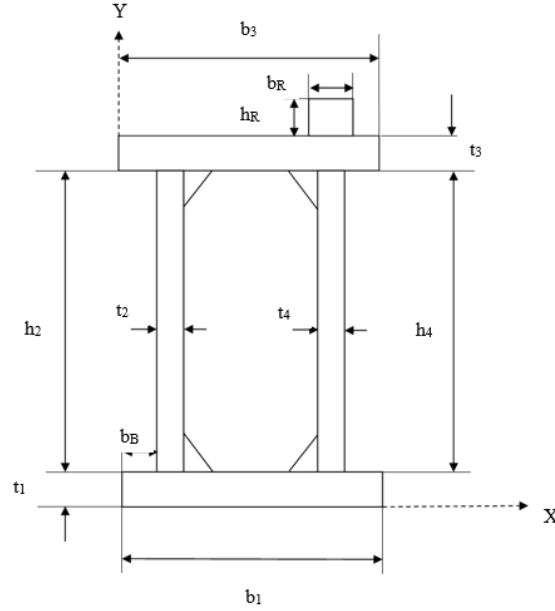
$$Y_3=t_1+0,5.t_3+h_2=1,52 \text{ m} \quad (5.40)$$

$$Y_4=t_1+0,5.h_2=0,764 \text{ m} \quad (5.41)$$

$$Y_R=t_1+t_3+h_2+0,5.h_R=1,551 \text{ m} \quad (5.42)$$

$$X_s = \frac{X_1 \cdot A_1 + X_2 \cdot A_2 + X_3 \cdot A_3 + X_4 \cdot A_4 + X_R \cdot A_R}{A_{top}} = 0,396 \text{ m} \quad (5.43)$$

$$Y_s = \frac{Y_1 \cdot A_1 + Y_2 \cdot A_2 + Y_3 \cdot A_3 + Y_4 \cdot A_4 + Y_R \cdot A_R}{A_{top}} = 0,785 \text{ m} \quad (5.44)$$



Şekil 5.1 : Ana kiriş kesiti.

Sistemin kesit elemanlarının ağırlık merkezlerini belirtirsek;

$$X_{S1}=X_S-X_1=0,021 \text{ m} \quad (5.45)$$

$$Y_{S1}=Y_S-Y_1=0,778 \text{ m} \quad (5.46)$$

$$X_{S2}=X_S-X_2=0,363 \text{ m} \quad (5.47)$$

$$Y_{S2}=Y_S-Y_2=0,021 \text{ m} \quad (5.48)$$

$$X_{S3}=X_S-X_3=0,021 \text{ m} \quad (5.49)$$

$$Y_{S3}=Y_3-Y_S=0,735 \text{ m} \quad (5.50)$$

$$X_{S4}=X_4-X_S=0,321 \text{ m} \quad (5.51)$$

$$Y_{S4}=Y_S-Y_4=0,021 \text{ m} \quad (5.52)$$

$$X_{SR}=X_R-X_S=0,321 \text{ m} \quad (5.53)$$

$$Y_{SR}=Y_R-Y_S=0,766 \text{ m} \quad (5.54)$$

Kirişin x-eksenine göre atalet momenti hesabı denklem 5.55’de gösterilmiştir.

$$I_X = (b_1 \cdot \frac{t_1^3}{12}) + (t_2 \cdot \frac{h_2^3}{12}) + (b_3 \cdot \frac{t_3^3}{12}) + (t_4 \cdot \frac{h_4^3}{12}) + (b_R \cdot \frac{h_R^3}{12}) + Y_{S1}^2 \cdot A_1 + Y_{S2}^2 \cdot A_2 + Y_{S3}^2 \cdot A_3 + Y_{S4}^2 \cdot A_4 + Y_{SR}^2 \cdot A_R = 0,016 m^4 \quad (5.55)$$

Kirişin y-eksenine göre atalet momenti hesabı denklem 5.56’de gösterilmiştir.

$$I_Y = (t_1 \cdot \frac{b_1^3}{12}) + (h_2 \cdot \frac{t_2^3}{12}) + (t_3 \cdot \frac{b_3^3}{12}) + (h_4 \cdot \frac{t_4^3}{12}) + (h_R \cdot \frac{b_R^3}{12}) + X_{S1}^2 \cdot A_1 + X_{S2}^2 \cdot A_2 + X_{S3}^2 \cdot A_3 + X_{S4}^2 \cdot A_4 + X_{SR}^2 \cdot A_R = 3,294 \times 10^{-3} m^4 \quad (5.56)$$

$$e_1=Y_S=0,785 \text{ m} \quad (5.57)$$

$$e_2=Y_R+0,5 \cdot h_R-Y_S=0,791 \text{ m} \quad (5.58)$$

$$u_1=b_1-X_S=0,354 \text{ m} \quad (5.59)$$

$$u_2=X_S=0,396 \text{ m} \quad (5.60)$$

$$e_{\max}=e_1=0,785 \text{ m} \quad (5.61)$$

$$u_{\max}=u_2=0,396 \text{ m} \quad (5.62)$$

Kirişin x-eksenine göre mukavemet momenti;

$$W_X = \frac{I_X}{e_{\max}} = 20,48 m^3 \quad (5.63)$$

Kirişin y-eksenine göre mukavemet momenti;

$$W_Y = \frac{I_Y}{u_{\max}} = 8,311 m^3 \quad (5.64)$$

Kirişin birim ağırlığının hesabı yapılacak olursa;

$$k_r=1,03 \quad (5.65)$$

$$L_{br}=1 \text{ m} \quad (5.66)$$

Çeliğin yoğunluğu;

$$\rho_{st} = 7850 \frac{kg}{m^3} \quad (5.67)$$

Kirişin perdesiz birim ağırlığında doğabilecek saptmalara karşı k_r katsayısı ile çarpılır ve kirişin perdesiz birim ağırlığı denklemi 5.68' de gösterilmiştir.

$$q_{K1} = A_{top} \cdot L_{br} \cdot \rho_{st} \cdot k_r = 323,42kg \quad (5.68)$$

Kirişe belirli mesafelerle yerleştirilen perdelerin birim ağırlığı denklem 5.69' da gösterilmiştir.

$$G_{perde} = t_{perde} \cdot [b_1 - 2 \cdot (b_B + t_2)] \cdot (h_2 - 50mm) \cdot \rho_{st} = 38,587kg \quad (5.69)$$

Kiriş ve perdenin toplam ağırlıkları denklem 5.70' de gösterilmiştir.

$$q_K = (q_{K1} + 0,5 \cdot G_{perde}) = 342,713kg \quad (5.70)$$

Bakım personeli ve servis platformu gibi ek ağırlıkları hesaba katacak olursak;

$$q_p = 250 \text{ kg} \quad (5.71)$$

Sehim hesabı;

Kiriş sisteminin kendi ağırlıkları sonucu meydana gelen sehim denklem 5.72' de gösterilmiştir.

$$f_g = \frac{(5,1,13 \cdot q_K \cdot g) \cdot L_h^3}{384 \cdot E \cdot I_x} = 2,29 \times 10^{-4} m \quad (5.72)$$

Yükün meydana getirdiği sehim denklem 5.73' de gösterilmiştir.

$$f_p = \frac{(F_y + F_{AA}) \cdot L_h^3}{48 \cdot E \cdot I_x} = 0,044m \quad (5.73)$$

Kren kirişlerindeki gerilmeler;

Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme, yayılı kuvvetlerin meydana getirdiği eğilme momentinden dolayı oluşan gerilme denklem 5.74' de gösterilmiştir [14].

Kiriş ağırlık kuvveti:

$$F_{AK} = (q_K + q_p) \cdot g = 5,813 \times 10^3 N \quad (5.74)$$

Kiriş eğilme momenti;

$$M_1 = \frac{F_{AK} \cdot L_h}{8} = 1,816 \times 10^4 J \quad (5.75)$$

Kiriş öz ağırlığından oluşan gerilme;

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_x} = 8,869 \times 10^5 Pa \quad (5.76)$$

Arabadaki gerilmeler;

Arabanın öz ağırlığından kaynaklanan momentin oluşturduğu eğilme gerilmesi denklem 5.77' de gösterilmiştir.

Araba eğilme momenti;

$$M_2 = \frac{F_{AA}}{32 \cdot L_h} \cdot (2 \cdot L_h - L_a)^2 = 1,695 \times 10^5 J \quad (5.77)$$

Araba öz ağırlığından oluşan gerilme;

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{W_x} = 8,274 \times 10^6 Pa \quad (5.78)$$

Kaldırma yükü eğilme momenti;

$$M_3 = \frac{F_{TD}}{32 \cdot L_h} \cdot (2 \cdot L_h - L_a)^2 = 3,248 \times 10^5 J \quad (5.79)$$

Kaldırma yükünün oluşturduğu gerilme;

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W_x} = 1,586 \times 10^7 Pa \quad (5.80)$$

Atalet kuvvetinden gelen gerilme;

Kren kirişi ve araba ağırlığının oluşturduğu atalet kuvveti kaynaklı gerilme, DIN 15018 standardına göre elde edilen yatay kuvvetlerle hesaplanır. Öz ağırlık katsayısı denklem 5.81' de görülmektedir.

$$\gamma_1 = 1,08 \quad (5.81)$$

Kren tekerleğindeki ivme ve frenlemeden meydana gelen hareket yönlü yatay kuvvet:

$$K_{r1} = 0,3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\gamma_1 \cdot (q_k + q_p) \cdot g + \frac{F_{AA}}{2} \right] = 5,355 \times 10^3 N \quad (5.82)$$

Atalet kuvvetlerinden meydana gelen moment;

$$M_4 = \frac{L_h}{2} \cdot K_{r1} = 6,693 \times 10^4 J \quad (5.83)$$

Atalet kuvvetlerinden meydana gelen gerilme;

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{W_y} = 8,054 \times 10^6 Pa \quad (5.84)$$

Arabanın kasılması dolaylı gerilme;

$$k_\lambda = 0,2 \quad (5.85)$$

Denklem 5.85' de belirtilen yatay yük katsayısıdır ve kiriş ray açıklığı ile araba tekerlek aks açıklığına oranı değerini gösterir. Genellikle köprülü krenlerde daha emniyetli değerler için k_λ ' nin değeri maksimum değer olan 0,2 olarak kabul edilir yada FEM standartlarının ilgili tablolarına bakılır.

$$F_{ATH} = k_\lambda \cdot F_{TD} \quad (5.86)$$

$$M_5 = L_a \cdot F_{ATH} \quad (5.87)$$

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{W_y} = 5,428 \times 10^6 Pa \quad (5.88)$$

H-Hali için kren kirişinde meydana gelen maksimum ve minimum gerilme denklemleri;

DIN ve FEM standartlarına göre oluşturulmuş tablolardan yükleme grubuna bağlı olarak seçilen yükleme grubu katsayısı denklem 5.89'da görülmektedir.

$$k_B = 1 \quad (5.89)$$

Kren veya vinçlerin FEM ve DIN standartlarına göre yük kaldırma hızlarına bağlı minimum kaldırma hızı ve buna bağlı minimum kaldırma katsayısı denklem 5.90' da görülmektedir.

$$\psi = 1,15 \quad (5.90)$$

Kren kirişindeki maksimum gerilme;

$$\sigma_{\max} = k_B \cdot (\sigma_1 + \sigma_2 + \psi \cdot \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5) = 4,088 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (5.91)$$

Kren kirişindeki minimum gerilme;

$$\sigma_{\min} = \sigma_1 + \sigma_2 = 9,161 \times 10^6 \text{ Pa} \quad (5.92)$$

Sınır gerilmeler oranı kapa (κ) denklem 5.93'de gösterilmiştir.

$$\kappa = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0,224 \quad (5.93)$$

Kirişteki kayma gerilmesi;

Kaldırma yükünden, arabadan ve kirişin öz ağırlık kuvvetleri nedeniyle kren sisteminde kesme gerilmesi oluşmaktadır. Bu gerilme, denklem 5.94'de gösterilmiştir.

$$F_k = \psi \cdot F_y + k_B \cdot F_{AA} = 5,099 \times 10^5 \text{ N} \quad (5.94)$$

$$A_k = 4 \cdot t_2 \cdot h_2 = 0,036 \text{ m}^2 \quad (5.95)$$

$$\tau_k = \frac{F_k}{A_k} = 1,417 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (5.96)$$

$$\tau_{\max} = \frac{(\psi \cdot F_y + k_B \cdot F_{AA})}{4 \cdot t_2} \cdot \left[\frac{X_{S4} + 0,2 \cdot Y_{SR}}{(X_{S2} + X_{S4}) \cdot (Y_{S1} + Y_{S3})} + \frac{1}{h_2} \right] = 2,39 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (5.97)$$

Kren kirişindeki karşılaştırma gerilmesi;

Normal ve kayma gerilmeleri, biçim değiştirme enerjisi hipotezine göre (BDH) toplanarak kren kirişindeki karşılaştırma gerilmesi denklem 5.98' de gösterildiği gibi toplanır.

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_{\max}^2 + 3 \cdot \tau_{\max}^2)} = 5,817 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (5.98)$$

Malzemenin emniyetli mukavemet değeri;

Hesaplar için yükleme H-hali kabul edilir. Sınır değerler oranı $k=0$ olarak dalgalı yükleme durumu kabul edilir. Çentik grubu K3 alınır. Yükleme grubu B3 alınır.

Çeliklerin yükleme durumlarına göre maksimum emniyet gerilmeleri çizelge 5.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : Çeliklerin yükleme durumları - maksimum emniyet gerilmeleri.

B3 Yükleme Grubu için çelikler	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Maksimum Emniyet Gerilmesi (σ_E)		
		K2 Çentik Grubu N/mm ²	K3 Çentik Grubu N/mm ²	K4 Çentik Grubu N/mm ²
S235 (St37)	240	180	180	127
S275 (St42)	275	240	195	175
S355 (St52)	360	270	212	127

DIN15018 Yükseklik sınıflarında ve yükleme gruplarına göre H2 yükleme hali, B3 yükleme grubu ve St37 için çizelgeden emniyetli çekme gerilmesi değeri;

$$\sigma_{\zeta_{em}} = 180 \frac{N}{mm^2} \quad (5.99)$$

şeklinde bulunur. Buna göre;

$$\sigma_v = 5,817 \times 10^7 Pa < \sigma_{\zeta_{em}} = 1,5 \times 10^8 Pa \quad (5.100)$$

Olduğundan kren kirişindeki gerilmenin malzemenin emniyetli çekme mukavemeti değerinden küçüktür. Statik kontrol uygundur. Tam değişken dinamik yükleme durumunda sınır değer oranı denklem 5.103’ de ve çentik grubu gerilme değeri denklem 5.101’ de gösterilmiştir. Buna göre elde edilen gerilme değeri denklem 5.104’ de gösterilmiştir.

$$\sigma_{Dcminus1EM} = 127 \frac{N}{mm^2} \quad (5.101)$$

$$R_m = 360 \frac{N}{mm^2} \quad (5.102)$$

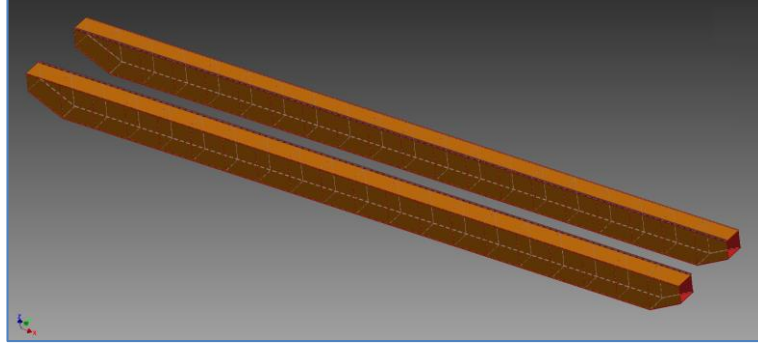
$$k = -1 \quad (5.103)$$

$$\sigma_{DckEM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{Dcminus1EM}}{1 - (1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{Dcminus1EM}}{0,75 \cdot R_m}) \cdot k} = 180,922 \frac{N}{mm^2} \quad (5.104)$$

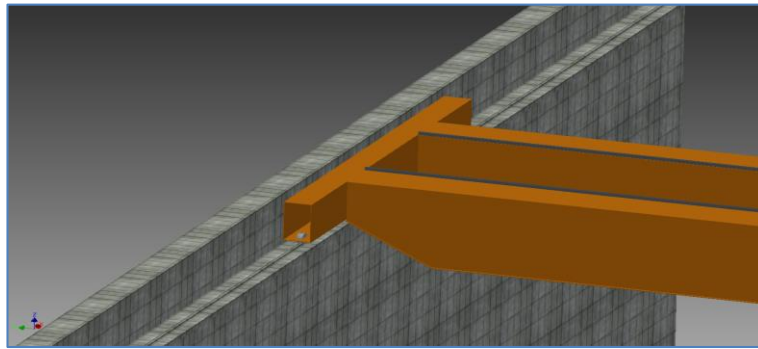
5.2 Gezer Köprülü Krenin Modeli

Gezer köprülü kren modeli önceki ünite de bulunan boyutlandırma hesapları doğrultusunda Inventor bilgisayar destekli tasarım programında oluşturulmuştur. Model parçaları kren ana kirişi, baş kiriş, araba, ve tekerleklerin bilgisayar ortamında montajlanması ile elde edilmiştir (Şekil 5.7). Oluşturulan modellerin teknik resimleri Autocad programında oluşturulmuştur.

Teknik resimler Ek' te yer almaktadır. Kren modelinde kullanılan araba CAD modelinde oldukça basitleştirilmiştir (Şekil 5.4). Bunun nedeni analizde ayrıntılı modele ihtiyaç duyulmamasından kaynaklanmaktadır. Krenin üzerinde hareket ettiği raylı duvarların modellenmesinin sebebi krenin belirli yükseklikteki titreşim davranışının daha iyi anlaşılabilmesi içindir (Şekil 5.3). Kren ana kiriş modeli aşağıdaki gibi görülmektedir (Şekil 5.2)

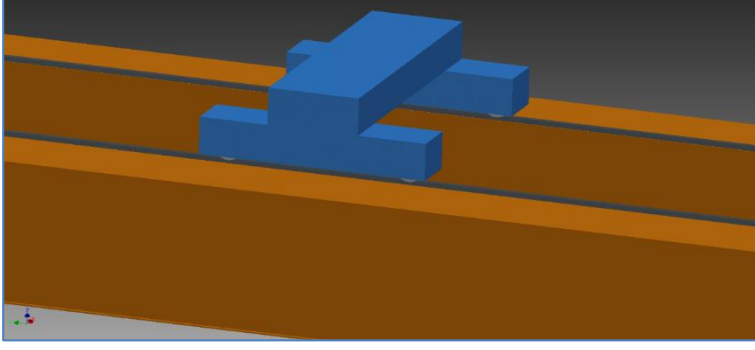


Şekil 5.2 : Kren Ana Kiriş Modeli.

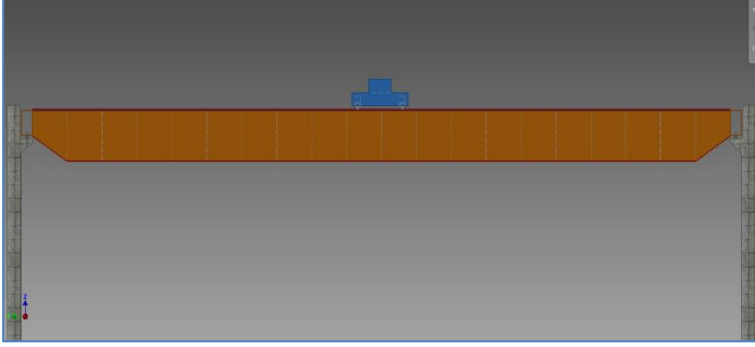


Şekil 5.3 : Baş Kiriş Modeli.

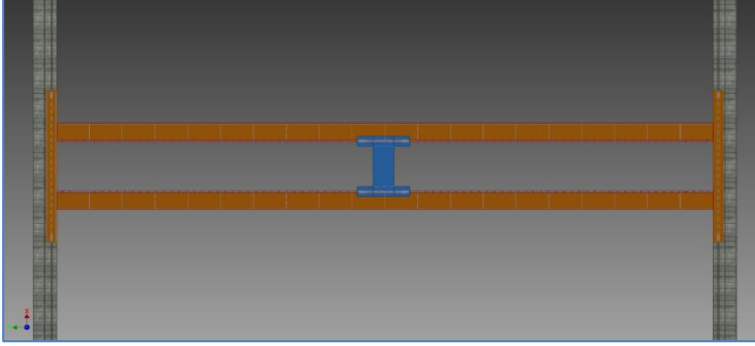
Krenin üzerindeki yüklerin daha iyi görülmesi amacıyla modelin ön görünüşü (Şekil 5.5) ve üst görünüşü (Şekil 5.6) aşağıdaki gibi görülmektedir.



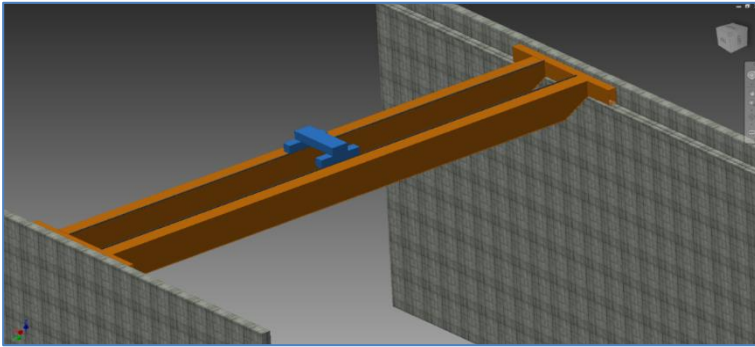
Şekil 5.4 : Araba Modeli.



Şekil 5.5 : Kren Parçalarının Montajlanmış Modeli ön görünüşü.



Şekil 5.6 : Kren Parçalarının Montajlanmış Modeli üst görünüşü.



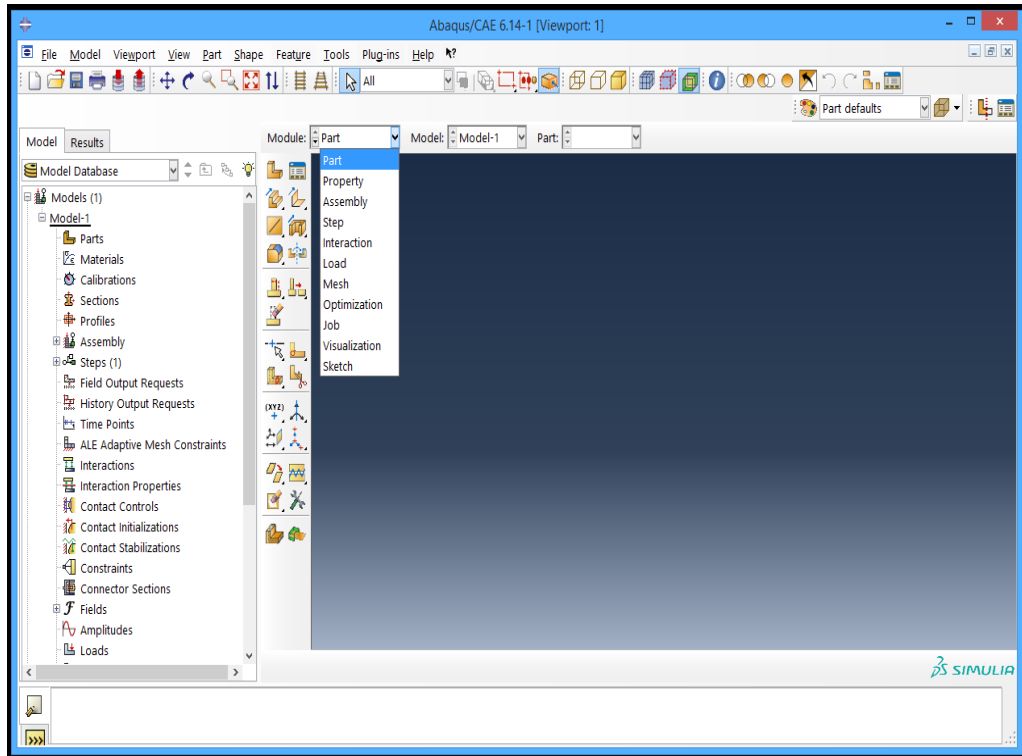
Şekil 5.7 : Kren Parçalarının Montajlanmış Modeli izometrik görünüşü.

6. KRENİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Makine mühendisliğinde en yaygın olarak kullanılan analiz programlarından biri olan ABAQUS bilgisayar destekli mühendislik paket programı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu kren modelinin analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1).

Analizde kullanılan CAD modeli Inventor programından aktarılmış olmasına rağmen ABAQUS bilgisayar destekli mühendislik programının da bir CAD modeli oluşturabilmesi mümkündür ve bu konuya sonraki bölümde değinilmiştir.

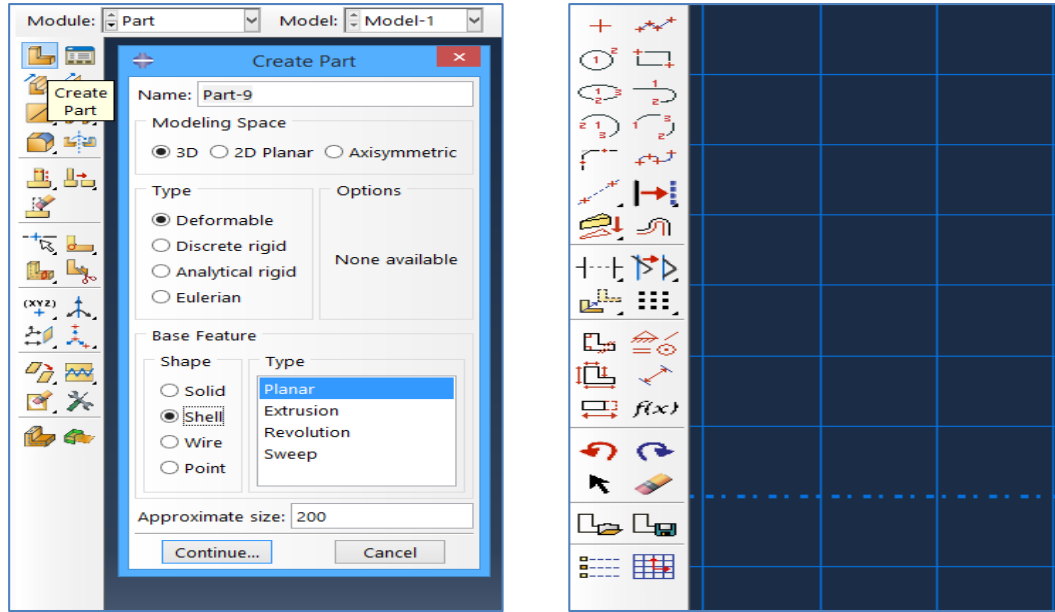
ABAQUS bilgisayar destekli mühendislik programı; parça modeli, malzeme özellikleri, parça birleştirme, çözdürme adımı, parça ilişkilendirme, yük atama, ağ yapısı oluşturma ve analizi çözdürme gibi ana başlıklar ve bunların alt başlıklarının olduğu bir düzene dayalı ara yüze sahiptir [15].



Şekil 6.1 : ABAQUS paket programı ana penceresi.

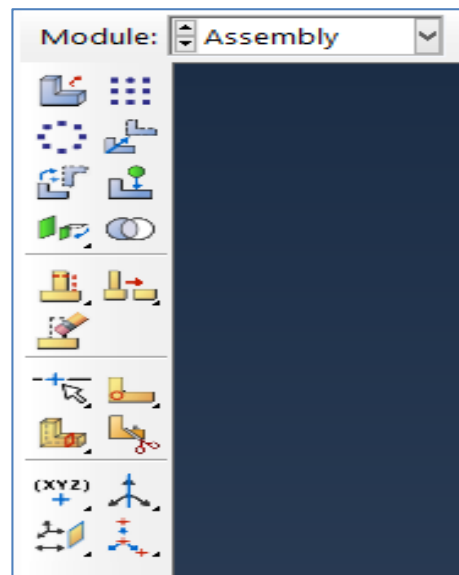
6.1 Modelin Analiz Programında Oluşturulması

Programda üç boyutlu kren modelini oluşturmak için parça oluşturma butonuna tıklanır ve yeni parça modeli oluşturma verileri girilir (Şekil 6.2). Açılan mavi kareli pencerenin solunda bulunan komutlar yardımı ile çizim işlemimiz tamamlanır.



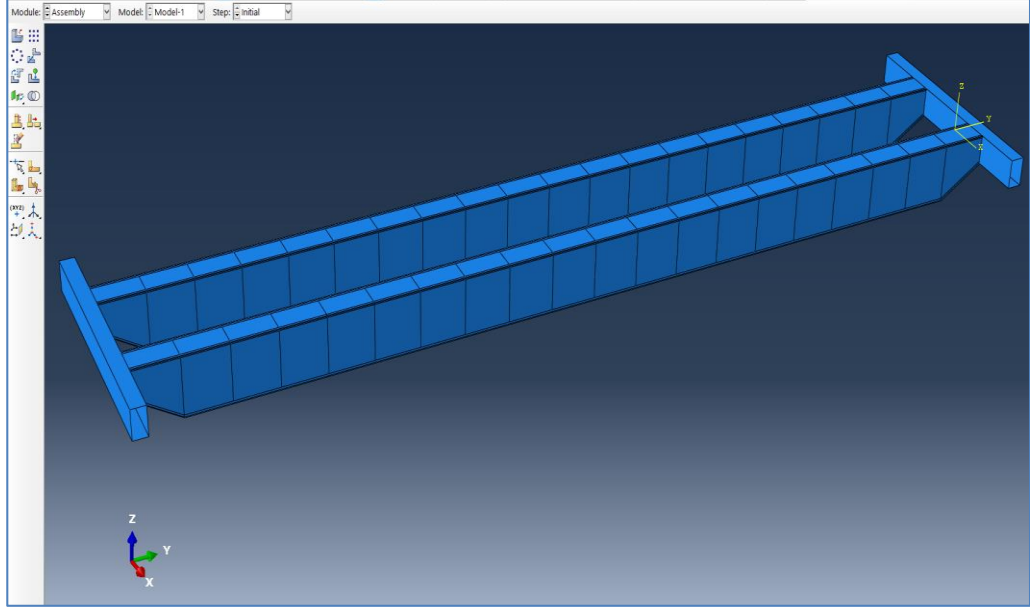
Şekil 6.2 : Parça oluşturma penceresi.

Oluşturduğumuz tüm parçalar birleştirme “Assembly” başlığında bulunan “Create instance” butonuna basılarak birleştirme ekranına eklenir. Eklenen parçalar döndürme ve sürükleme gibi komutlar yardımı ile birleştirilir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 : Parça birleştirme penceresi.

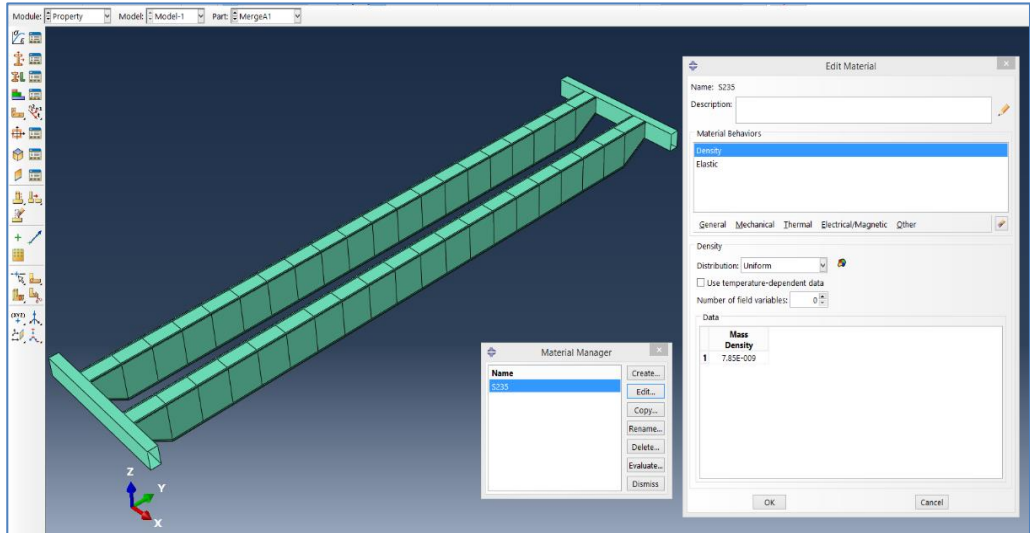
Parçaları birleştirerek oluşturulan kren üç boyutlu modeli gösterilmiştir (Şekil 6.4). Analiz süresinin düşürülmesi amacıyla araba modeli oluşturulmamıştır. Arabanın krene uyguladığı yükler direkt olarak programa girilmiştir.



Şekil 6.4 : Krenin üç boyutlu modeli.

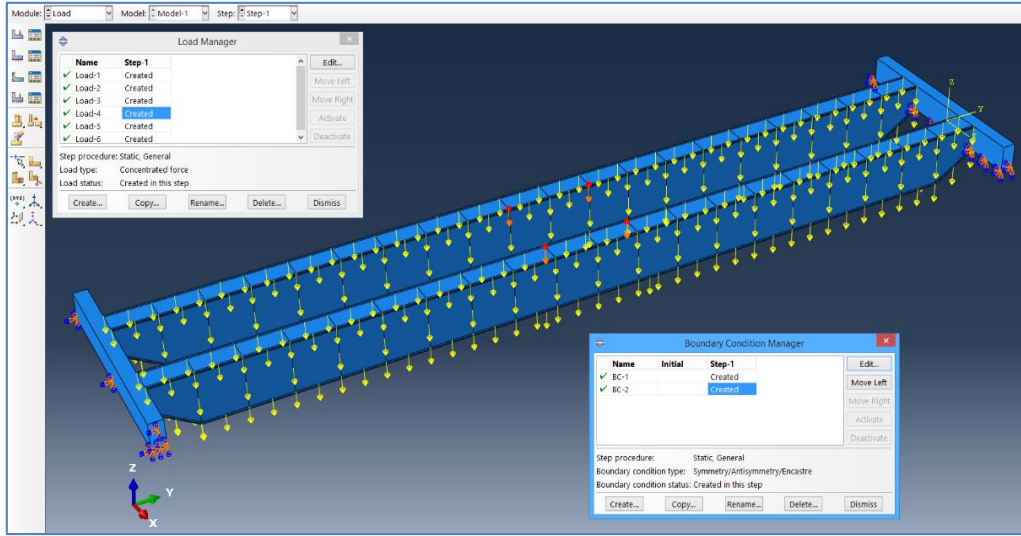
6.2 Malzeme Özellikleri ve Sınır Koşul Verilerinin Girilmesi

Oluşturulan modelin malzeme özelliği olarak S235 (St-37) çeliği verileri kullanılmıştır. Malzeme özelliği verileri “Create material” butonuna tıklandıktan sonra açılan menüde metal malzemenin yoğunluğu, poisson oranı ve elastisite modülü değerleri girilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 : Modelin malzeme özellikleri.

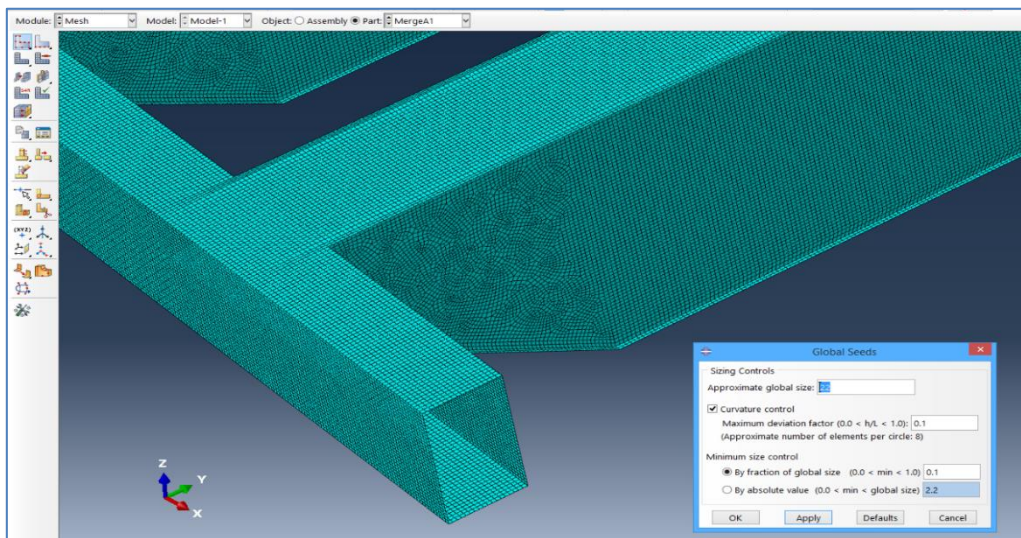
Araba ağırlığı ve taşınan maksimum yükün ağırlığı modele noktasal yükler olarak tanımlanmıştır (Şekil 6.6). Bunun dışında ana ve baş kirişin kendi ağırlıkları model içinde tanımlanmış olup baş krişlerden model mesnetlenmiştir.



Şekil 6.6 : Modelin Sınır koşulları.

6.3 Modelin Ağ Yapısının Oluşturulması

Analiz sonuçlarının doğruluğu bakımından modelin ağ yapısının detaylandırılması önem arz eder. Bu nedenle eleman boyutları, kullanılan bilgisayar sisteminin elde edebileceği en yoğun “quadratic” elemanlarla ağ yapısı elde edilmiştir (Şekil 6.7). Modelin ağ yapısında uygunsuz elemanlara rastlanmamıştır.

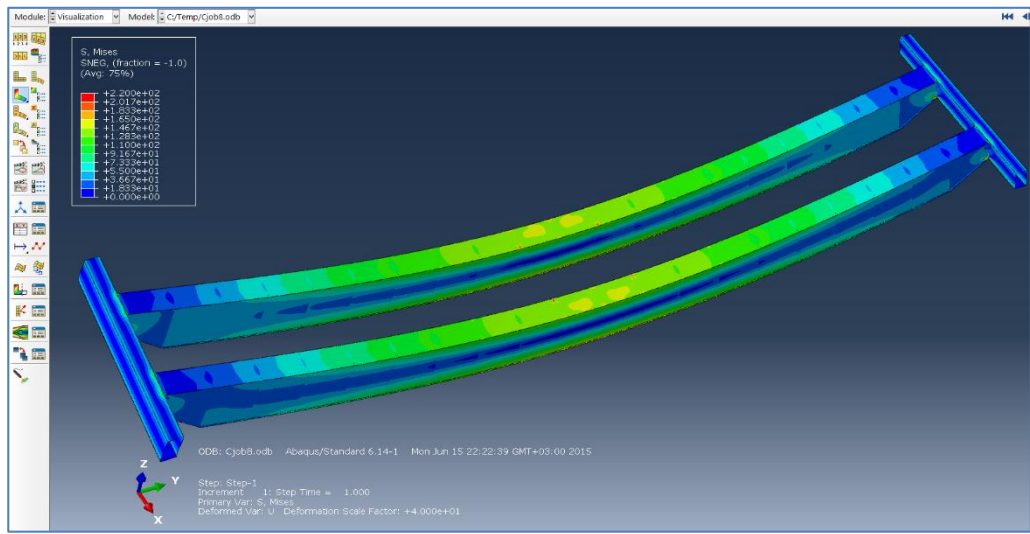


Şekil 6.7 : Modelin ağ yapısı.

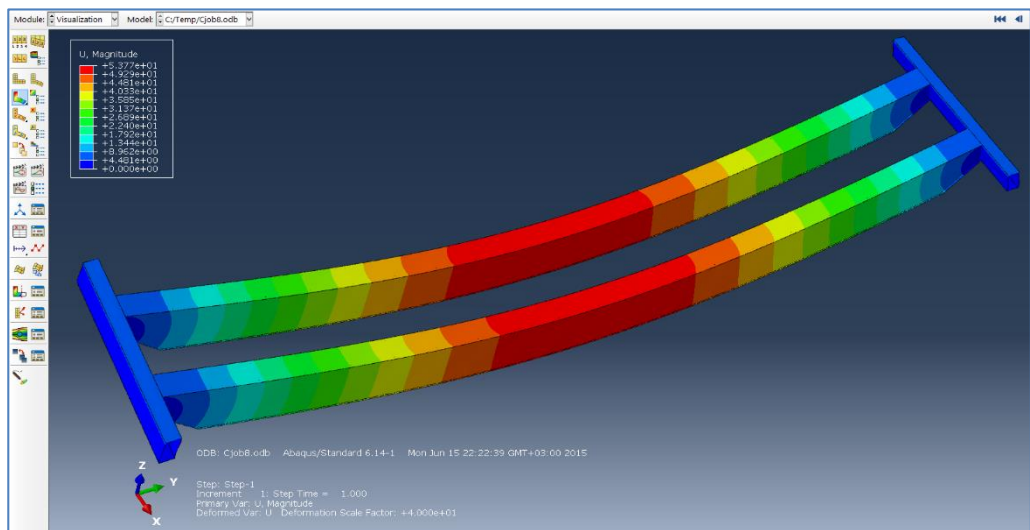
6.4 Modelin Statik Analizi

Krenin modelleme, sınır koşulları ve ağ modeli tamamlandıktan sonra kiriş üzerinde iki tür zorlama uygulanmıştır. Bunlardan birincisi arabanın olma durumu ve arabanın baş kirişe yakın olma durumu analizleridir.

Arabanın ortada olma durumunda sehimi değeri baş kirişe yakın olma durumundan daha fazla olacaktır ve kirişteki maksimum gerilmeler orta kısımda yoğunlaşacaktır (Şekil 6.9). Üst kısımda basma gerilmeleri ve alt kısımda çekme gerilmeleri meydana gelecektir (Şekil 6.8).

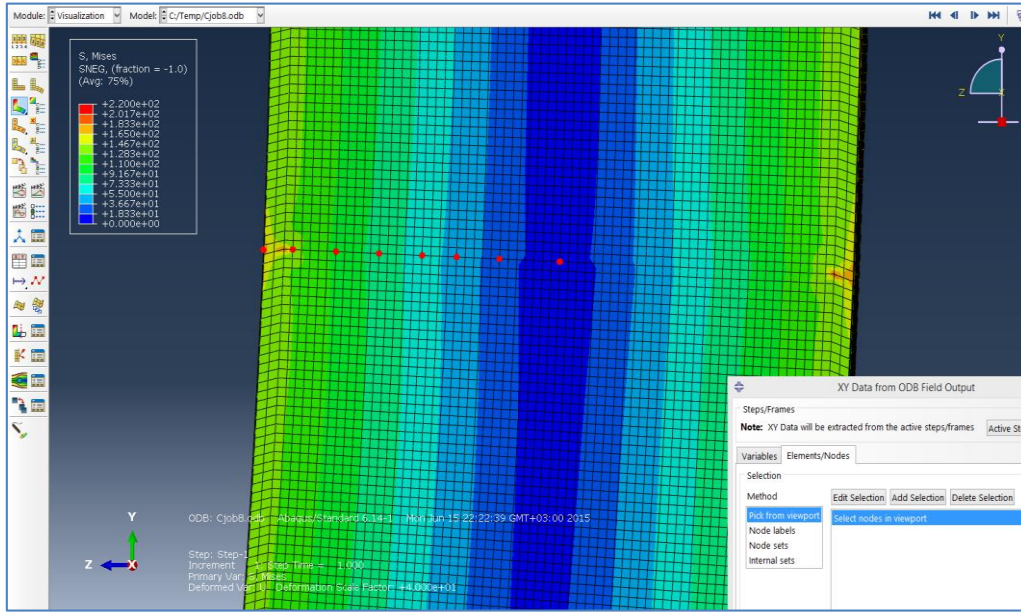


Şekil 6.8 : Krenin, arabanın ortada olma koşulunda Von Misses gerilm dağılımını gösteren analiz sonucu.

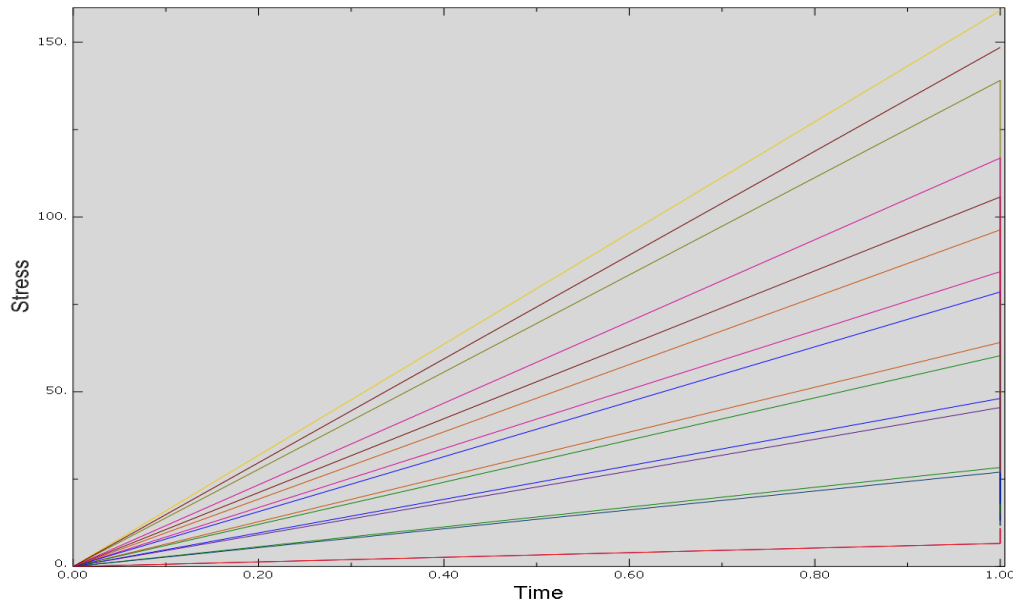


Şekil 6.9 : Krenin, arabanın ortada olma koşulunda sehimi dağılımını gösteren analiz sonucu.

Araba krenin orta bölgesinde olduğu durumda okunan en yüksek gerilme değeri görüntüleri (Şekil 6.10) ve grafiği (Şekil 6.11) aşağıdaki gibi görülmektedir.

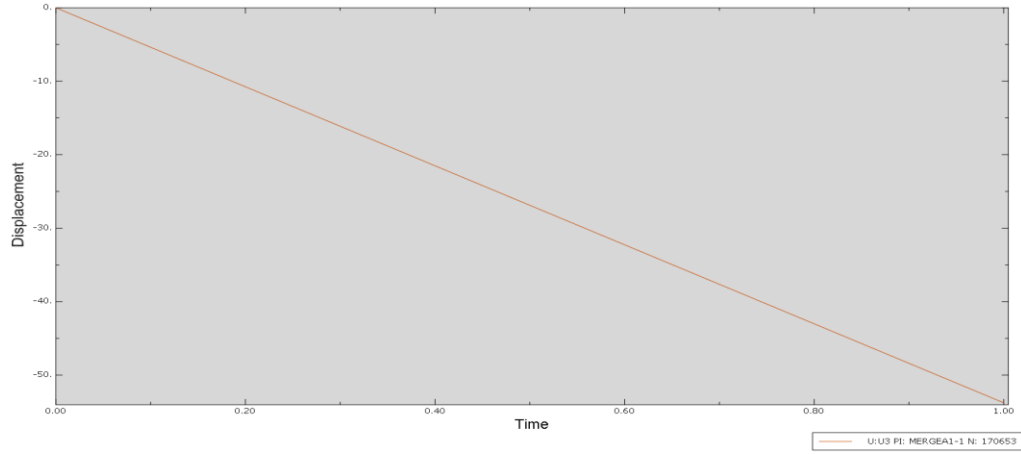


Şekil 6.10 : Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesinden alınan noktaların seçim penceresi.



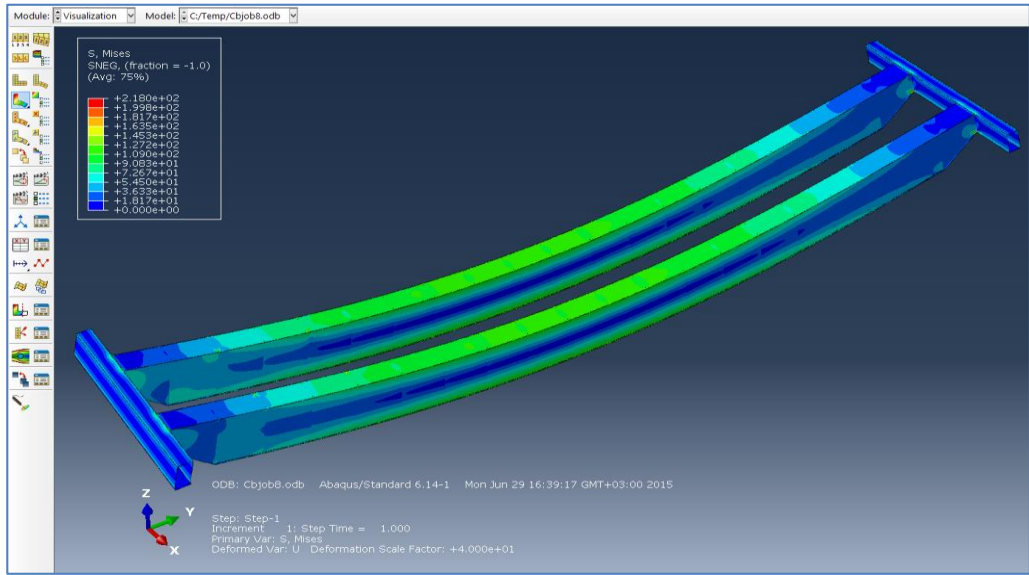
Şekil 6.11 : Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesindeki basma ve çekme gerilmeleri grafiği.

Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesinde elde edilen maksimum sehım değerleri aşağıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 6.12).

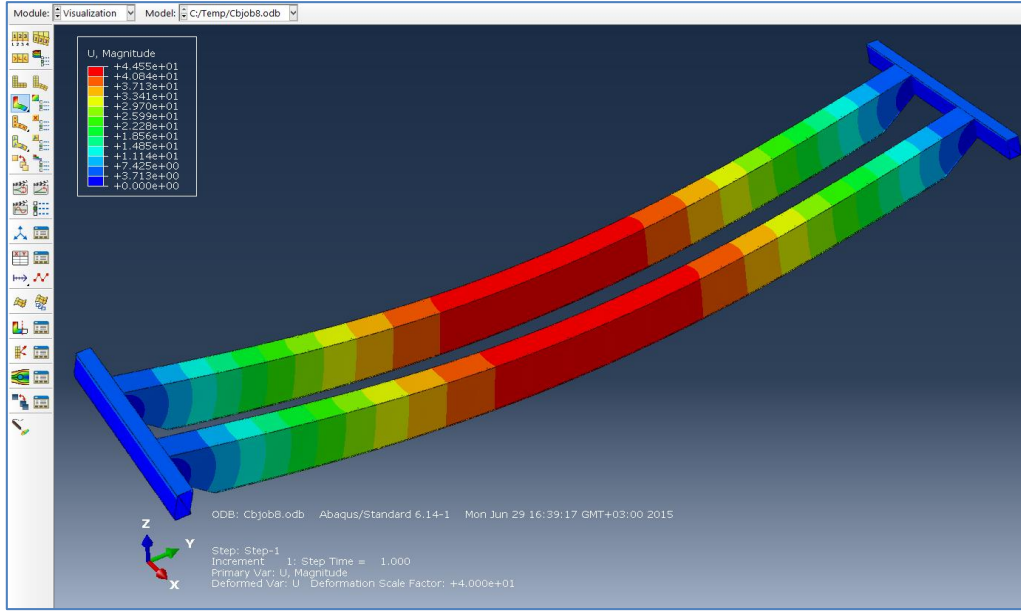


Şekil 6.12 : Arabanın ortada olma koşulunda krenin orta bölgesinde elde edilen maksimum sehim grafiği.

Kren arabasının baş kirişe yakın olması halinde analiz sonuçlarında gözle görülür bir değişim söz konusudur. Sehim ve gerilme verileri ve yerleri arabanın ortada olma haline göre daha düşük değerleri göstermektedir. Elde edilen değerler sonucu gerilme ve sehim değerlerinin araba konumuyla bağlantılı olduğu şekil 6.13 ve şekil 6.14’de görülmektedir.

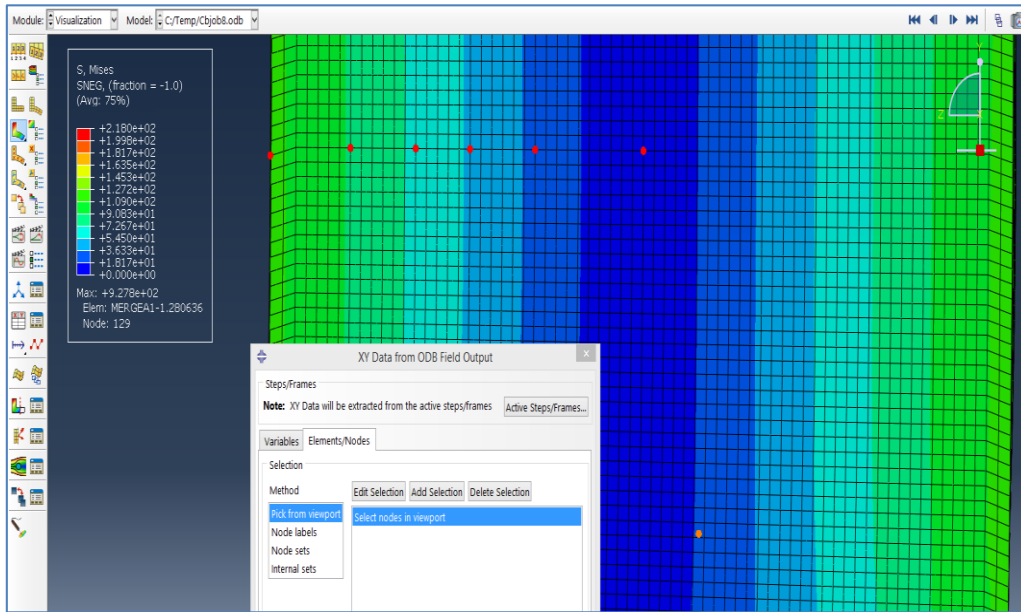


Şekil 6.13 : Krenin, arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda Von Misses gerilm dağılımını gösteren analiz sonucu.

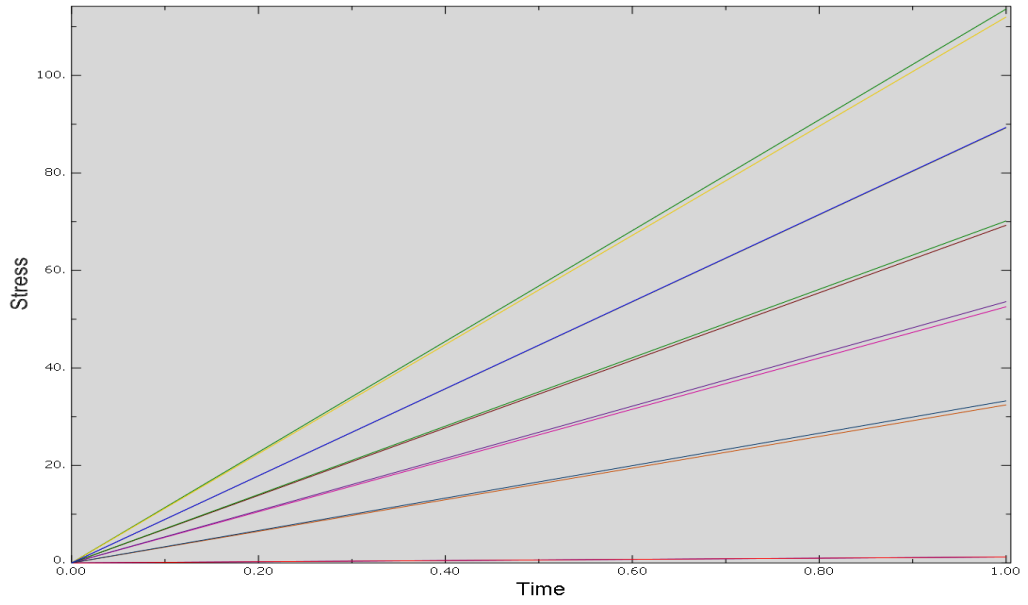


Şekil 6.14 : Krenin, arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda sehım dağılımını gösteren analiz sonucu.

Arabanın baş kirişe yakın olma durumda okunan en yüksek gerilme değeri görüntüleri (Şekil 6.15) ve grafiği (Şekil 6.16) aşağıdaki gibi görülmektedir.

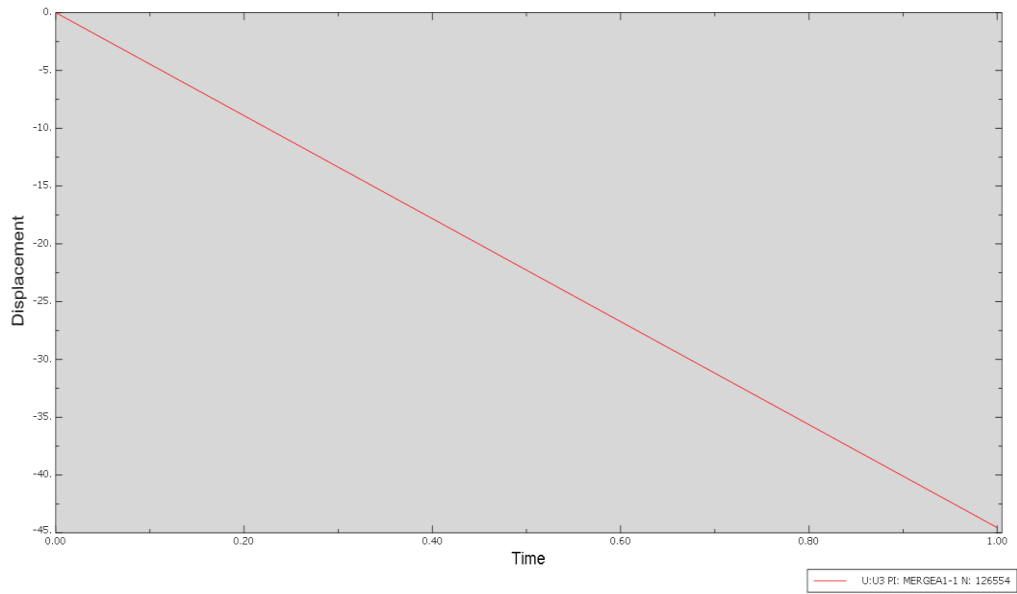


Şekil 6.15 : Arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesinden alınan noktaların seçim penceresi.



Şekil 6.16 : Arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesindeki gerilme grafiği.

Araabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesinde elde edilen maksimum sehım değeri aşığıdaki grafikte görülmektedir (Şekil 6.17).



Şekil 6.17 : Arabanın baş kirişe yakın olma koşulunda krenin orta bölgesinde elde edilen maksimum sehım grafiği.

7. KRENİN SİSMİK ANALİZİ

Ara yüz ve kullanım kolaylığı bakımından krenin sismik analizler SAP2000 paket programında yapılması uygun görülmüştür. SAP2000, birçok bilgisayar destekli mühendislik programı gibi tanımlamış olduğumuz üç boyutlu modele göre yapının analiz ve boyutlamasını gerçekleştirir. SAP2000 paket programında model transferi tanımlı olmadığından dolayı üç boyutlu kren modeli yeniden oluşturulmuştur.

SAP2000, dört ana birim sistemini kullanır. Bunlar; kuvvet, uzunluk, ısı ve zamandır. Yeni bir çalışma başlatıldığında program size istediğiniz birimlerle çalışma imkanı sunar ve seçtiğimiz birimler, çalışmanın esas birimi haline gelir.

Çizim ara yüzü kullanılarak model içinde fiziksel yapı elemanları nesneler biçiminde oluşturulur. Fiziksel nesne modeline atama menüsünden nesne özellikleri ve yükleme grupları atanabilir. Bir grup, farklı tip ve sayıda nesne içerebilir. Bu özellik benzer nesneleri daha rahat tanımlama ve boyutlandırmayı sağlar.

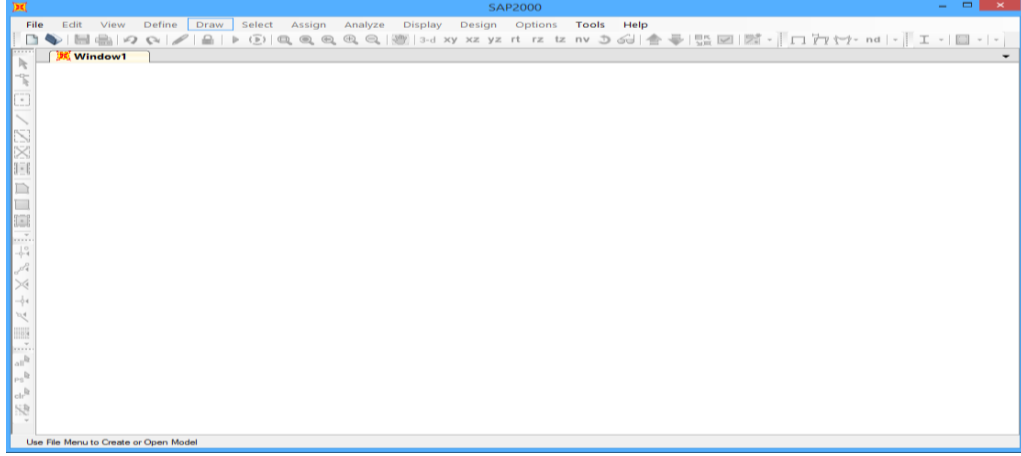
Programda kullanılan koordinat sistemi üç ekseninde (x,y ve z) birbirine göre dik ve sağ el kuralına uygun asal koordinat sistemine göre tanımlanır. Modeldeki nokta, çizgi ve alan gibi nesnelere ait özellikleri, yükleri ve tepkileri tanımlayan yerel koordinat sistemi mevcuttur ve 1, 2 ve 3 olarak numaralandırılmıştır.

Model üzerine kuvvet, basınç, mesnet yer değiştirmesi, ısı etkileri, zemin ivmesi gibi yükler tanımlanabilir. Bu yüklemeler; hareketli yük, statik yük, rüzgar yükü, kar yükü, ısı genleşme yükleri ve diğer yük türleri biçiminde tanımlanabilir. Seçilen yükün türü seçildikten sonra yönü ve şiddeti seçilebilir.

SAP2000 paket programı içinde çeşitli lineer veya non-lineer analiz türleri barındırır. Bunlar; lineer ve nonlinear statik analizler, modal analizi, tepki spektrum analizi, burkulma/buruşma analizi, hareketli yük analizi, düzenli drağan analiz, güç/spektrum/yoğunluğu analizi şeklindedir [16].

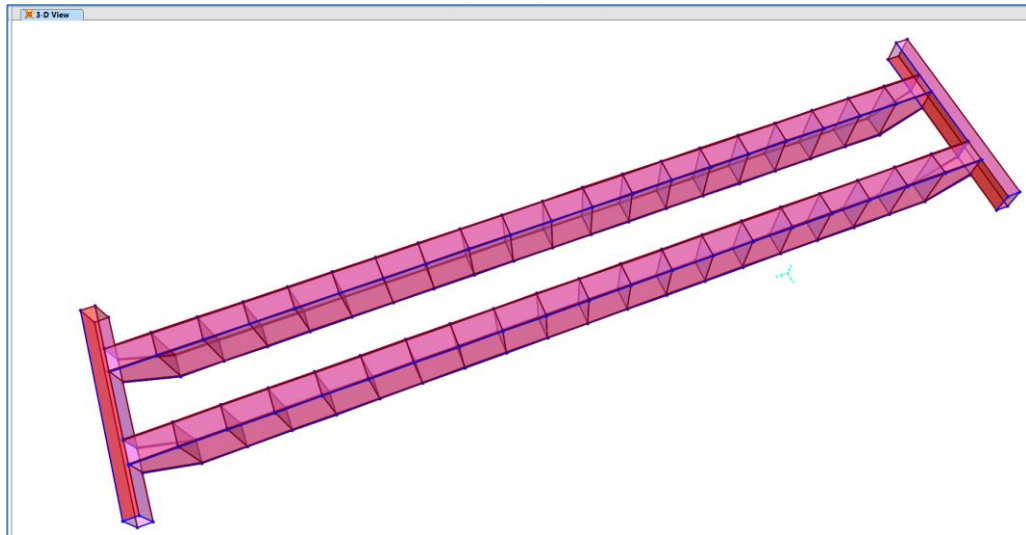
7.1 Modelin Analiz Programında Oluşturulması

SAP2000 ana penceresinde menü çubuğundaki komutlar, programda yapabileceğiniz tüm işlemlere, alt pencerelere erişim sağlar (Şekil 7.1).



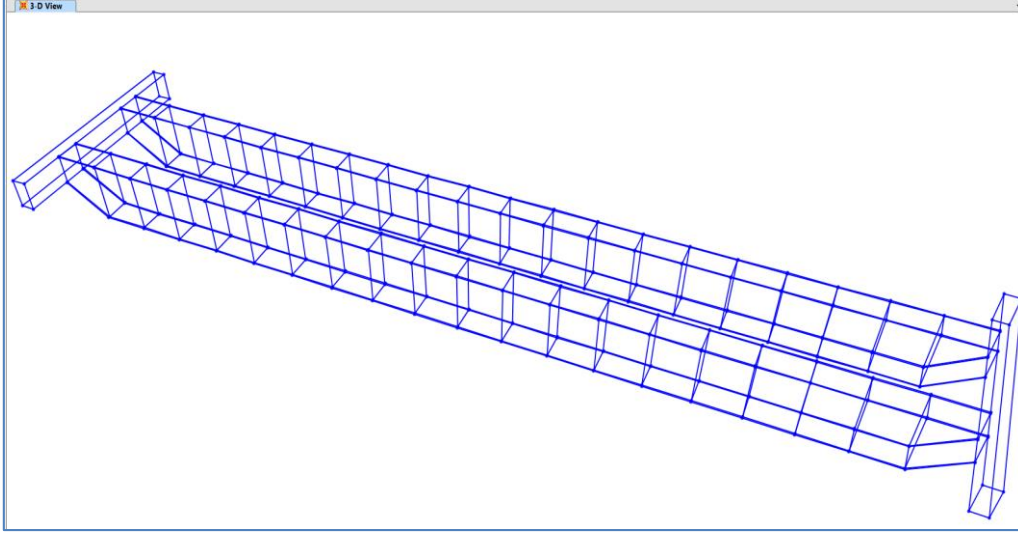
Şekil 7.1 : SAP2000 Paket programı ana penceresi.

Programda modeli oluşturmak için çizim menüsünden nesne çizim butonlarına tıklanılarak çizim modu aktif hale getirilir. Çizim işlemini bitirmek için bilgisayar faresine sağ tıklanır. Kren ana krişinin sismik anallizini gerçekleştirmeden önce programa gerekli boyut değerleri girilerek model oluşturulmalıdır. Ana kiriş üç boyutlu olarak görülmektedir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 : Ana ve baş kiriş modeli.

Kren ana kirişı modelinin oluşturulmasında kullanılan boyut değerleri nokta koordinatları şeklindedir. Nokta koordinatlarla oluşturulmuş model görülmektedir (Şekil 7.3).

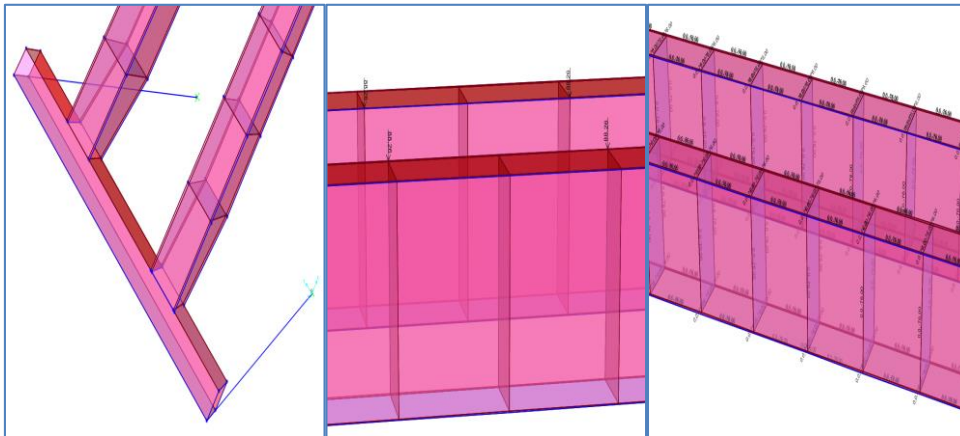


Şekil 7.3 : Ana ve baş kiriş modelini meydana getiren noktalar.

Kullanılan çelik saclar “Define” bölümünden programa atanmıştır. Ana kiriş iç kısmındaki takviye perde elemanları yerleştirilmiştir.

7.2 Malzeme Özellikleri ve Sınır Koşul Verilerinin Girilmesi

Modelleme işlemi tanımlandıktan sonra ana kiriş üzerinde sınır şartları belirlenmelidir. Şekil 7.4’de sınır şartları gösterilmiştir.



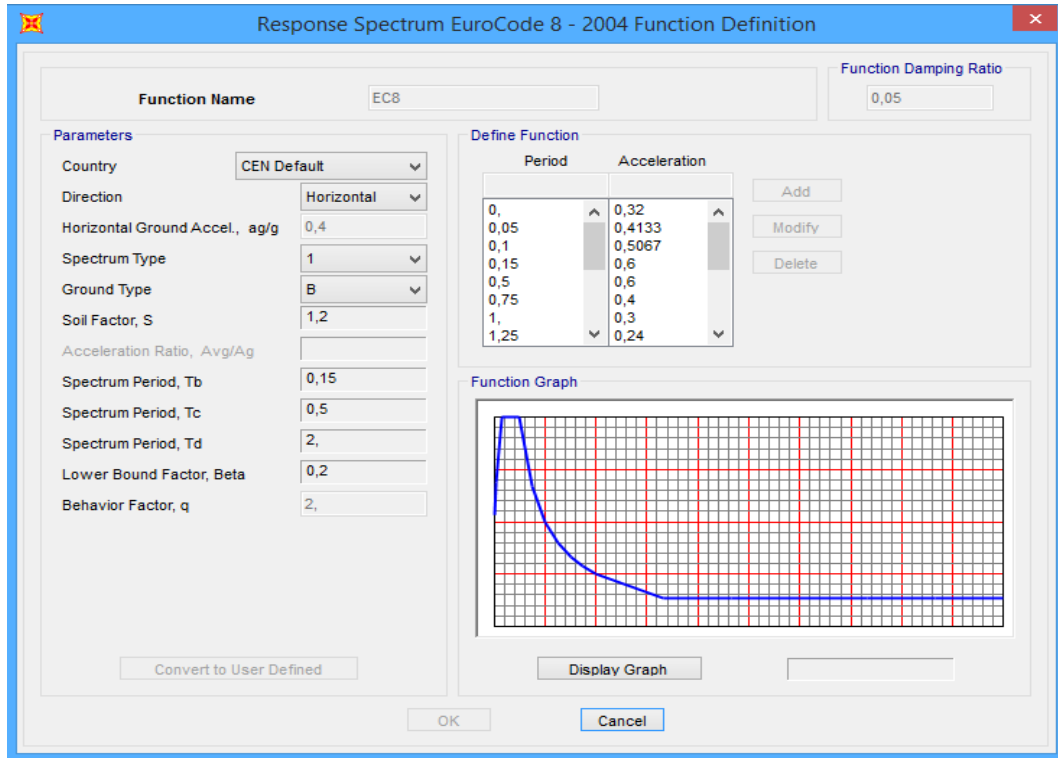
Şekil 7.4 : Ana ve baş kiriş modeli sınır şartları.

Seçilen nesnelere yükleri uygulamak için atama menüsünden atama özellikleri ve yük değerleri girilmelidir. Düğüm noktalarına mesnetler ve sınır şartları, yaylar, ktleler ve yerel koordinat eksenleri atanabilir. Katı modelin malzeme özelliklerinin tanımlanması “Define properties” menüsünden yapılır. Sınır koşulları verildikten sonra analiz menüsünden alıştır butonuna tıklanır ve analiz başlatılır.

7.3 Modelin Eşdeğer Deprem Yükleri Yöntemi ile Analizi

Modelin eşdeğer deprem yükleri yöntemi ile analizinde kullanılan sismik kriterler tezin ikinci bölümünde anlatılmıştır. şekil 7.5’ de Eurocode 8 deprem standartlarına göre sınır şartları gösterilmiştir [17].

Yapının spektrum analizi için CQC birleştirme yöntemi kullanılarak model üzerinde meydana gelen deplasmanlar ve elemanların iç kuvvet bileşenlerine her moddan gelen maksimum katkılar elde edilmiştir (şekil 7.6). Bu pencereden sismik yükün büyütme faktörü ve sönüm sabiti değerleri de modele tanımlanmıştır.



şekil 7.5 : Modelin sismik sınır artları.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: RS Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design..

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum

GMC f1: 1, GMC f2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination

☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute

Scale Factor:

Mass Source

Previous (MSSSRC1)

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

☒ Standard - Acceleration Loading ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	EC8	10,

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

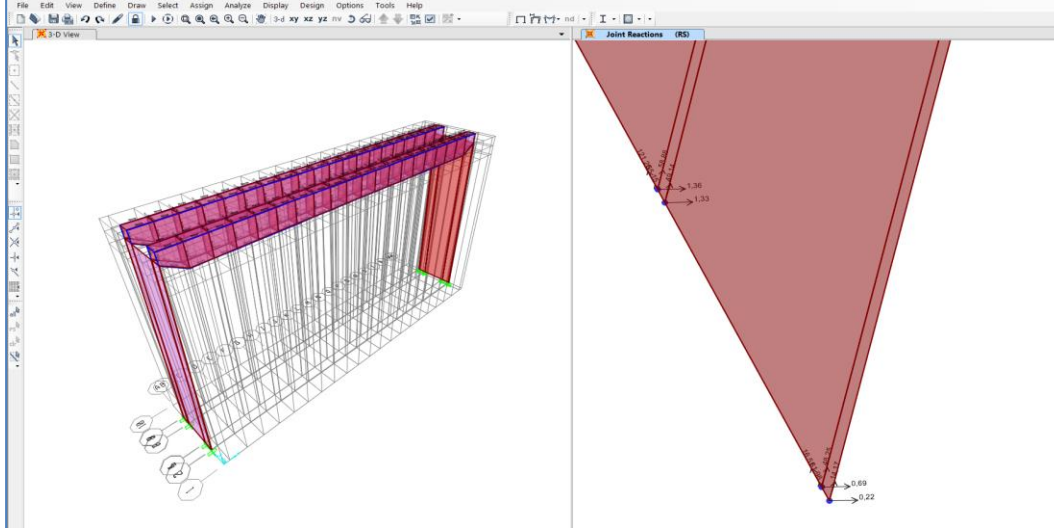
Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0,05 Modify/Show...

OK Cancel

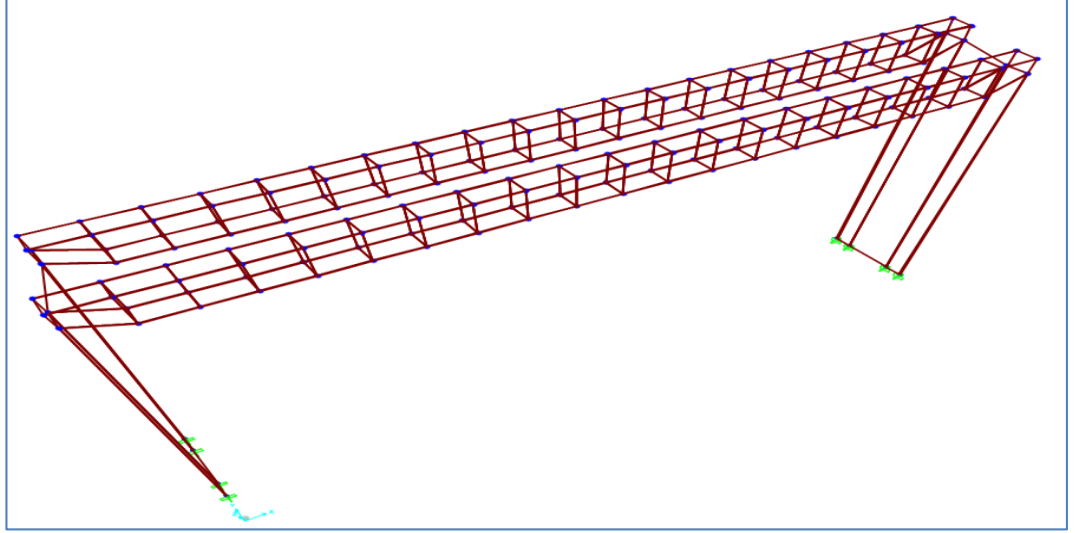
Şekil 7.6 : Modelin birleştirme yöntemi seçimi.

Analiz sonuçlandığında zemine ankastre kiriş olarak mesnetlenmiş olan modelin mesnetler üzerindeki tepki kuvveti değerleri gösterilmiştir (Şekil 7.7).



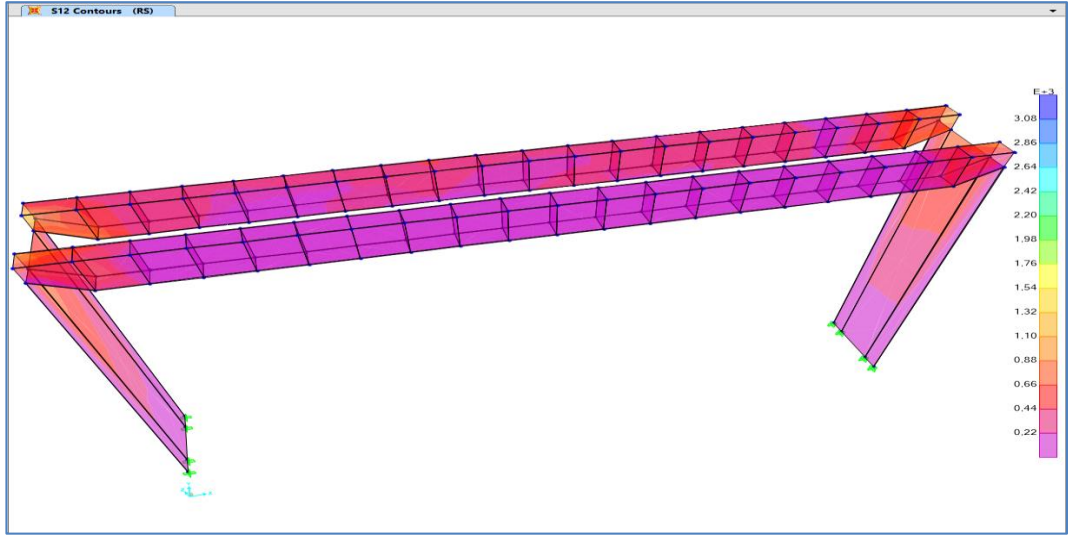
Şekil 7.7 : Analiz sonucu zeminin tepki kuvvetleri.

Şekil 7.8' de görüldüğü gibi ana kiriş üzerinde yer değişimleri meydana gelmiştir. İki kirişin yer değiştirme yönleri birbirinden farklıdır.



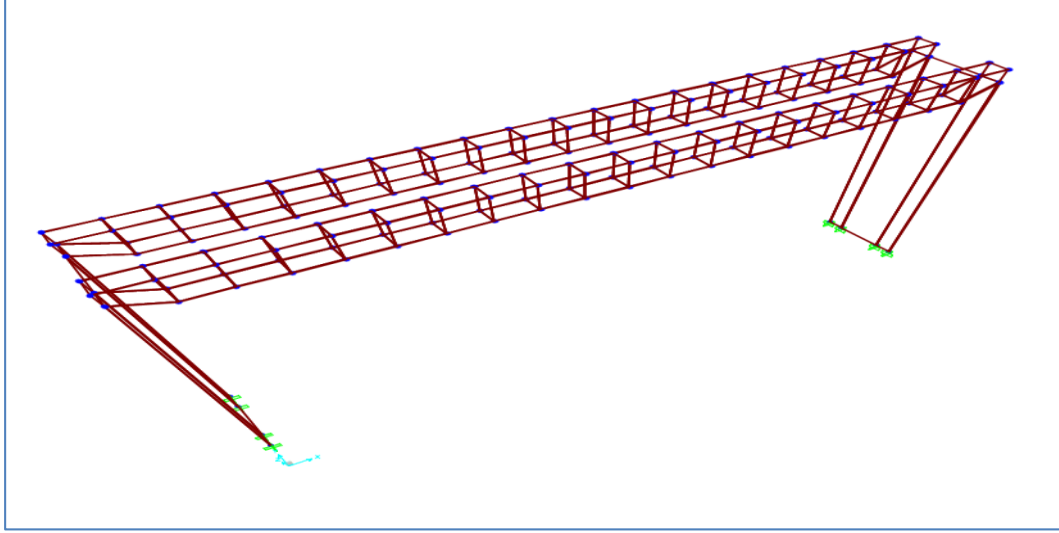
Şekil 7.8 : Yüksek şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği yer değiştirmeler.

Modelin x-y eksenleri doğrultularında meydana gelen gerilme değerleri gösterilmiştir (Şekil 7.9).



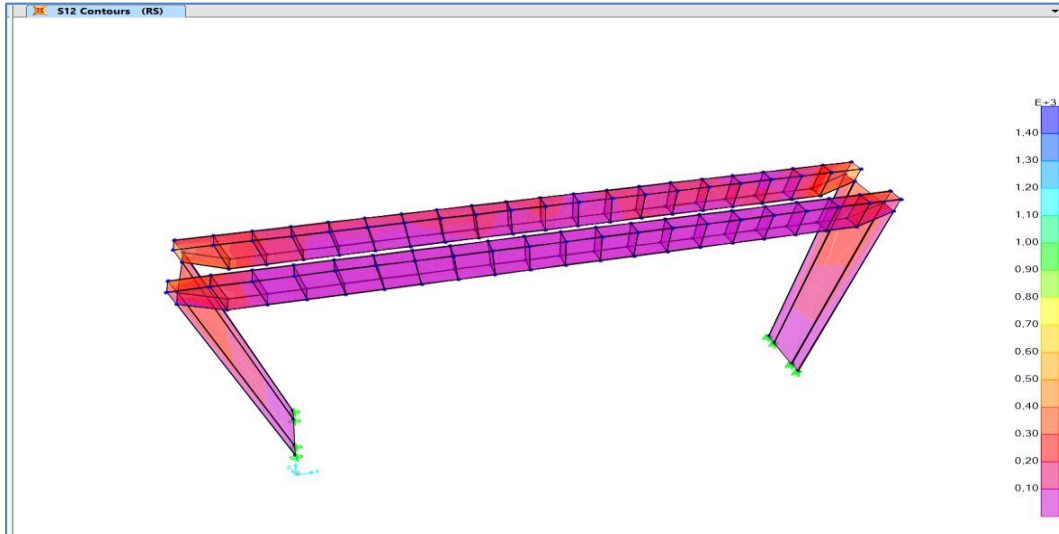
Şekil 7.9 : Yüksek şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği gerilmeler.

Türkiye deprem haritası incelendiğinde kurulması planlanan nükleer santraller için depremin riski az olarak tanımlanan 4' üncü deprem bölgeleri ve deprem riski çok az olarak tanımlanan 5' inci deprem bölgeleri en uygun alanlardır. Bu nedenle deprem riski az 4' üncü deprem bölgesi şartlarına uygun spektrum ivme grafiği seçilerek kren modeli analiz edildiğinde meydana gelen yatay doğrultuda yer değişimi gösterilmiştir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10 : Düşük şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği yer değiştirmeler.

Deprem riski az 4' üncü deprem bölgesi şartlarına uygun modelin x-y eksenleri doğrultularında meydana gelen gerilme değerleri gösterilmiştir (Şekil 7.11).

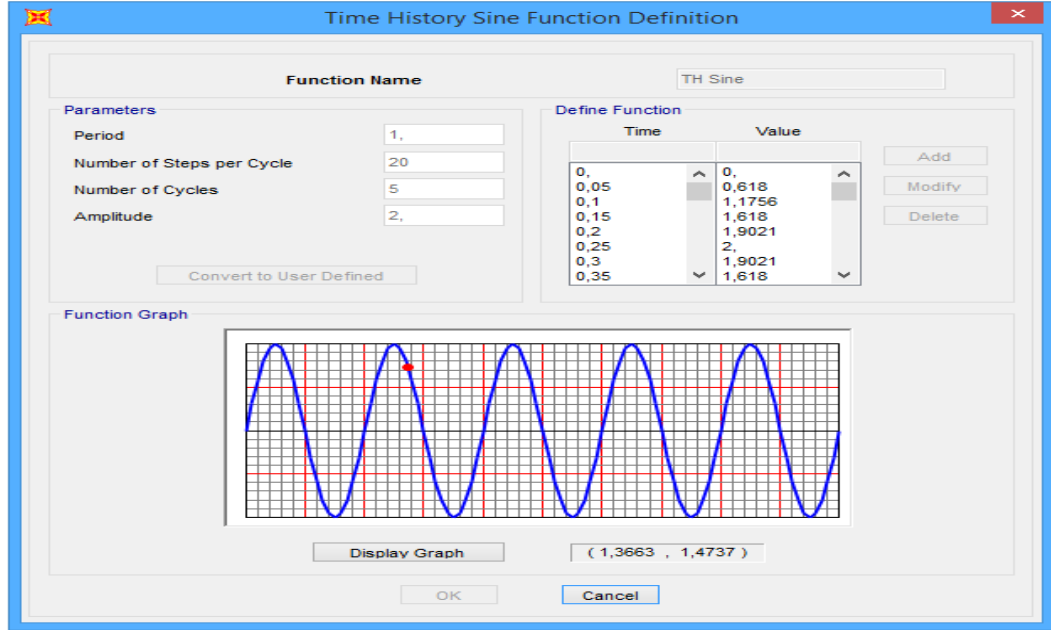


Şekil 7.11 : Düşük şiddetli depremin ana kiriş modelinde meydana getirdiği gerilmeler.

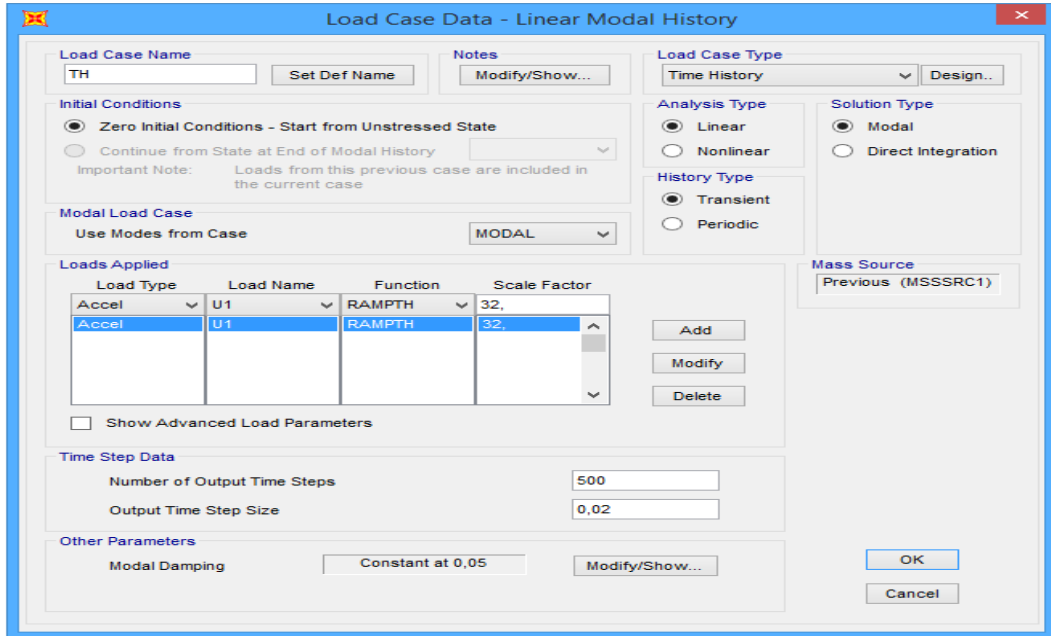
7.4 Modelin Mod Birleştirme Yöntemi ile Analizi

Modelin mod birleştirme yöntemi ile modelin sismik analizinin sınır şartları şekil 7.12' de görüldüğü gibidir. Buna göre sismik hareket 5 saniye sürmektedir. Çevrim başına 20 adım sayısı seçilmiştir.

Mod birleştirme yöntemi sismik yükleme koşulları belirtilmiştir (Şekil 7.13). Buna göre yükleme türü ivmeli ve analiz türü de lineer olacak şekilde seçilmiştir.

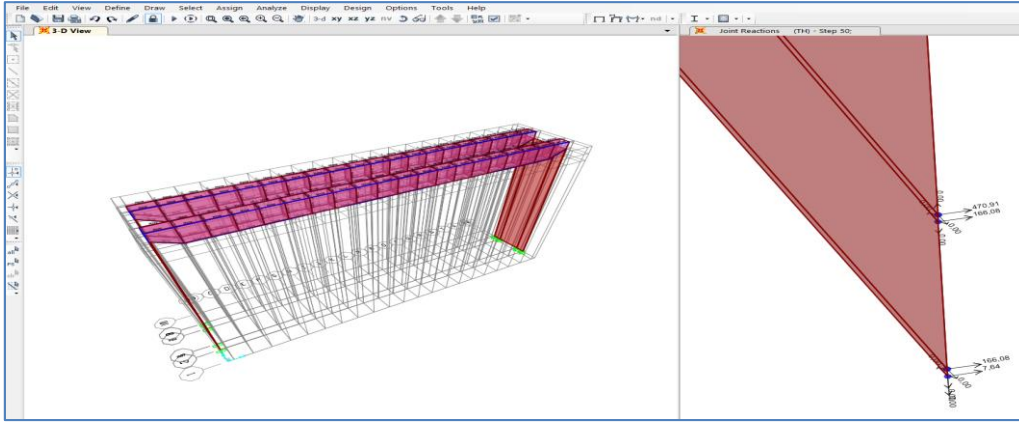


Şekil 7.12 : Ana giriş modelinin mod birleştirme yöntemi ile analizinin sınır koşulları.



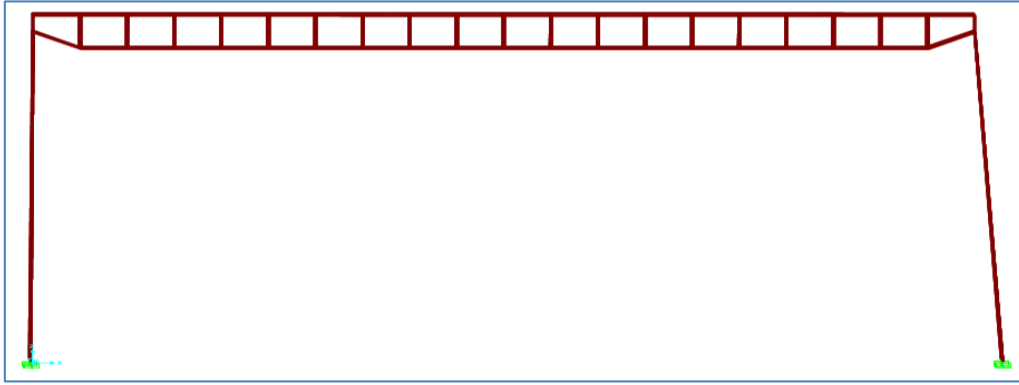
Şekil 7.13 : Ana giriş modelinin mod birleştirme yöntem yük tanımlama penceresi.

Mod birleştirme analizi sonucu zemine ankastre giriş olarak mesnetlenmiş olan modelin mesnetlerdeki tepki kuvveti değerleri gösterilmiştir (Şekil 7.14).



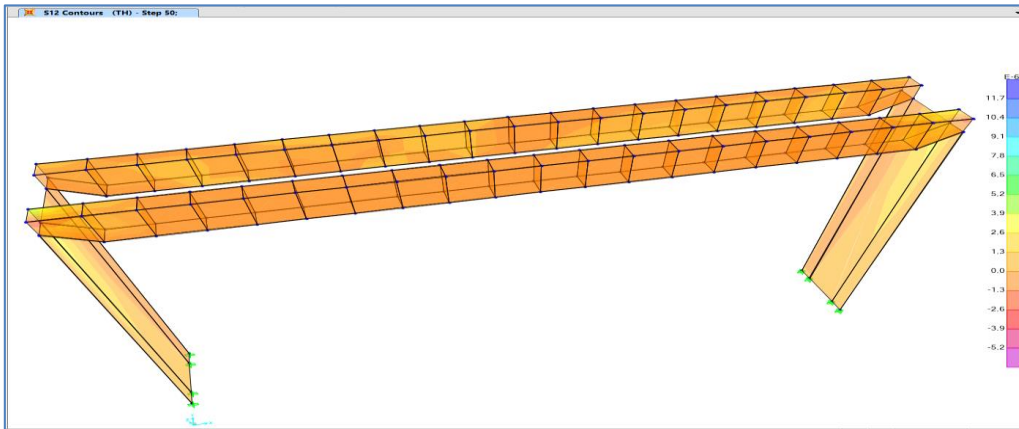
Şekil 7.14 : Mod birleştirme analizi sonucu zeminin tepki kuvvetleri.

Analiz sonucuna göre iki kirişin yer değişim yönleri aynıdır (Şekil 7.15). Bunun nedeni krene uygulanan sismik etkinin sinüsoidal biçimde olmasıdır.



Şekil 7.15 : Mod birleştirme analizi sonucu elde edilen ana kiriş yer değişimi.

Modelin x-y eksenleri doğrultularında meydana gelen gerilme değerleri gösterilmiştir (Şekil 7.16).



Şekil 7.16 : Mod birleştirme analizi sonucu ana kiriş modelinde meydana gelen gerilmeler.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kren mukavemet hesapları kren standartlarına uygun bir şekilde geleneksel hesap yöntemleriyle lineer olarak hesaplanmaktadır ve bu hesaplamalar doğrultusunda krenin boyutları oluşturulmuştur. Kren modelinin teknik resim ve üç boyutlu modelleri AutoCAD ve Inventor programında oluşturularak kren tasarım verileri elde edilmiştir. Hazırlanan üç boyutlu kren modeli aracılığıyla ABAQUS sonlu elemanlar paket programında statik analizler farklı yükleme koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Tezin altıncı bölümünde bulunan grafiklerden de anlaşılaçağı üzere krenin maksimum yükleme durumunda elde edilen gerilme verileri, sistemin gerilme değerlerinin güvenli emniyet gerilme değerlerinin altında olduğunu başka bir deyişle sistemin güvenli bölgede olduğunu işaret etmektedir.

Kirişte meydana gelebilecek maksimum gerilmeleri gidermek amacıyla sistemin kesit alanları arttırılabilir, farklı malzeme türleri seçilebilir veya kren sisteminin maksimum yük kapasitesi daha düşük bir değer olarak tayin edilebilir. Ancak tüm bu seçeneklerin kren sisteminin maliyetini arttırabilecek ve pazardaki talep oranının düşürebilecek çözümler olduğu unutulmamalıdır.

Kren sisteminde, klasik mukavemet hesapları ve elde edilen statik analiz sonuçlarına göre kren ana kirişi üzerinde oluşan gerilmeler, seçilen malzemenin emniyet gerilmesinden daha düşük olduğundan dolayı DIN ve FEM standartlarına göre sistemin emniyetli olduğu anlaşılmıştır.

ABAQUS sonlu elemanlar paket programı ile oluşturulan analiz sonucunda elde edilen gerilme ve deformasyon değerleri incelendiğinde, kren baş ve ana kirişinin eleman türünün ve sınır şartlarının uygun olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın bir bölümünde elde edilen statik analizlerin sonuçları klasik mukavemet hesap değerlerine yakın değerlerde elde edilmiştir.

SAP2000 bilgisayar destekli mühendislik paket programı ile elde edilen sismik analizler neticesinde elde edilen gerilme ve deformasyon değerleri dikkate alındığında, ana kirişte meydana gelen yer değişim değerleri önceki ünite de elde

edilen klasik hesaba yakın değerde çıkmaktadır. Bu durum analiz sonucunun valide olduğunu göstermektedir. Türkiye’ de kurulabilecek nükleer santrallerin bölgeleleri deprem riski az veya deprem riski çok az olan bölgelerden seçilmesi mantıklı olacağından bu bölgelerin şartlarına uyabilen sınır şartları analize tanımlanarak çözdürülmüştür. Ek B’ de şiddetli bir depremde ve şiddeti düşük bir depremde bulunan bazı gerilme değerleri karşılaştırılmıştır.

Ek C’ de görüldüğü gibi SAP2000 sonlu elemanlar paket programında elde edilen ana kiriş modelinin kendi ağırlığında yüksüz halde deprem standartlarında verilebilecek şiddetli ve düşük şiddetli depremler sırasında meydana gelen maksimum yer değişim ve gerilme değerleri görülmektedir. Önceki bölümlerde gösterildiği gibi analizde oluşan gerilme değerleri baş kirişe doğru yoğunlaşmıştır. Yine aynı şekilde maksimum yük altında gerçekleştirilen statik analizlerde de baş kiriş ve ana kirişin orta kısımlarında gerilme değerleri diğer bölgelere kıyasla daha yüksektir. Bu nedenle kren tasarımında ana kirişin orta bölgesi ile ana kirişin baş kirişe bağlanan bölgelerine ayrı bir önem verilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Kren sisteminin kendi ağırlığı da yine tasarım açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

Bu araştırma sonucunda maksimum yük altında ana kiriş üzerinde meydana gelen gerilme ve sehım değerlerinin emniyetli sınırlar içinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca tasarlanan krenin nükleer santrallerde kullanıma uygun olması amacı ile ana kiriş modelinin yüksek zemin hareketleri sırasında meydana gelen gerilme ve yer değiştirme verileri incelenmiş olup elde edilen değerlerin emniyetli sınırlar içinde olduğu gözlemlenmiştir. Krenin statik hesap ve analizlerinin sonuçları ile sismik analiz hesap ve sonuçları göz önünde bulundurulmalı ancak ayrı değerlendirilmelidir.

Bu araştırma sonrası için kren sisteminin parametrik modeli oluşturulabilir ve farklı yükleme, malzeme seçimi ve çalışma koşulları gibi faktörlere bağlı tasarımı hızlandırabilecek yazılımlar oluşturulabilir, bir deney düzeneği oluşturulup deprem etkilerinin kren test modeli üzerinde görülmesi sağlanabilir ve analiz sonuçlarıyla valide edilebilir veya operatör ve bakım personeli için kren sistemi üzerinde ergonomi ve güvenlik üzerine kren tasarımı değişiklikleri veya elektronik sistemler üzerine çalışmalar yürütülebilir.

KAYNAKLAR

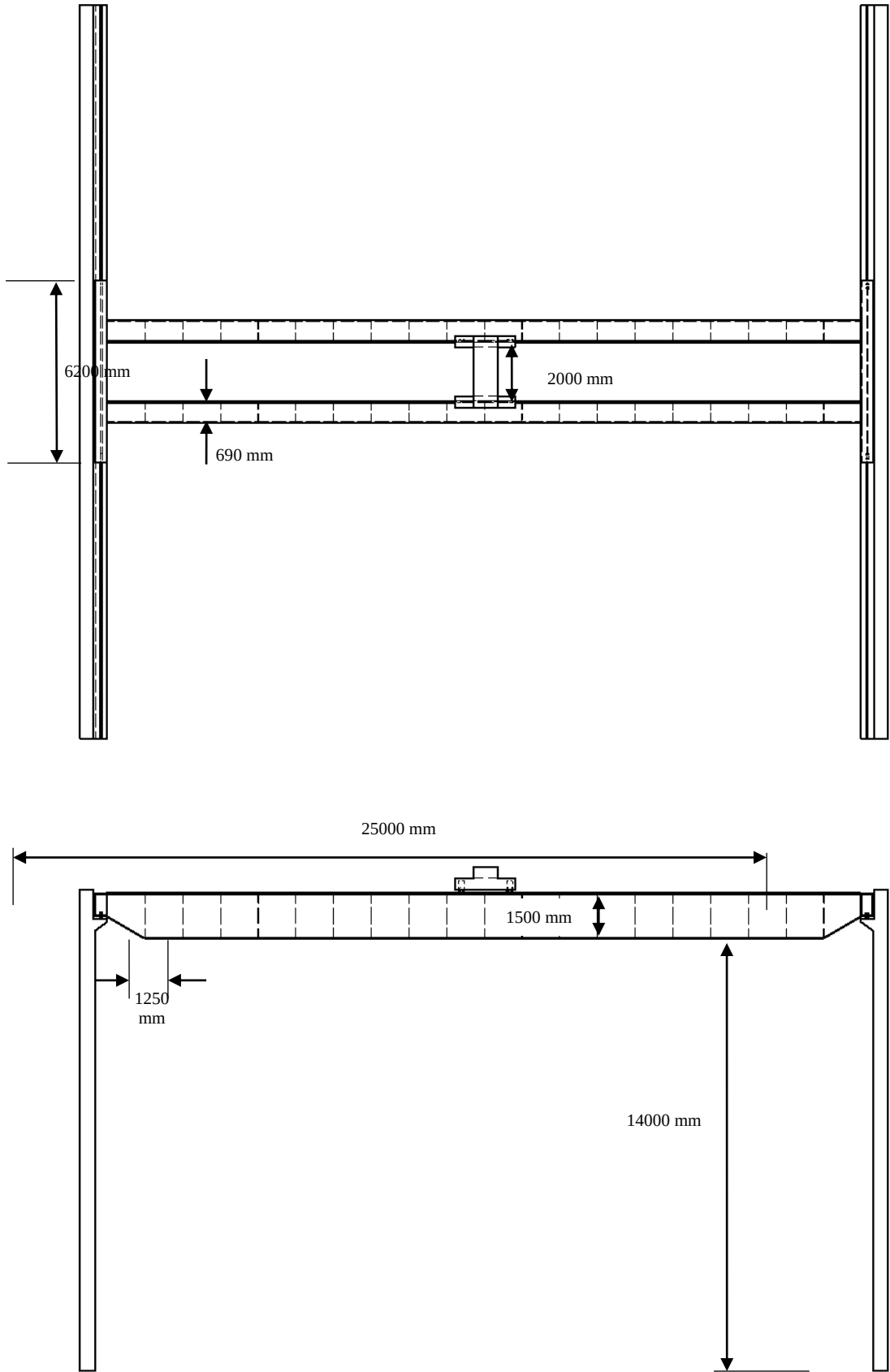
- [1] **Greiner, H. G.** (1967). Crane Handbook Design Data and Engineering Information used in the manufacture and application of Cranes, Third Edition, Illinois.
- [2] **Otani, A., Nagashima, K. ve Suzuki, J.** (2002). Vertical Seismic Response of Overhead Crane, *Journal of Nuclear Engineering Design*, 211-220.
- [3] **Turanlı Orakçı, Z. H.** (2012). *Nükleer Santrallerin Maliyet Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] **Özipek, M. N.** (2004). *Deprem Sonucu Oluşan Sismik Kuvvetlerin Mekanik Tesisatlara ve Ekipmanlara Olan Etkisi ve Bu Sistemlerin Deprem Güvenirliklerinin Sağlanması*, (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Kıral, E., R.Yerli, H., Temel, B. ve Kılıçlar Özdemir, E.** (2000). Yeni Deprem Yönetmeliğinin Analiz Bakımından Uygulamaları, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana.
- [6] **Kogan, J.** (1976). Crane Design Theory and Calculations of Reliability, Jerusalem.
- [7] **Verschoof, Ing. J.** (2000). Cranes Design, Practice and Maintenance, London.
- [8] **Kutay, M. G.** (2012). Vinçte Çelik Konstrüksiyon. *Çift kiriş hesabı*.Erişim adresi http://www.guven-kutay.ch/ozet-konular/40a_ciftkiris_hesaplari.pdf
- [9] **F.E.M.** 1998. 1.001 3. Baskı 1998.10.01.
- [10] **IAEA International Atomic Energy Agency.** (2012). Management System Standarts: Comparison between IAEA GS R 3 and ASME NQA 1 2008 and NQA 1a 2009 Addenda, Safety Reports Series No.70, Vienna.
- [11] **Url-1** <<http://energy.gov/sites/prod/files/maprod/documents/NQA-1.pdf>>, date retrieved 10.06.2015.
- [12] **NUREG-0554.** (1979). Single-Failure-Proof Cranes for Nuclear Power Plants, Office of Standarts Development U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C..
- [13] **NUREG-0612.** (1980). Control of Heavy Loads at Nuclear Power Plants, Office of Nuclear Reactor Regulatory Commission, Springfield Virginia.
- [14] **Varol, A.** (2009). *Gezer Köprülül Krenin Ana Kirişinin Sonlu Elemanlar Sayısal Yöntemiyle Dinamik Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **SIMULIA.** (2012).Abaqus/CAE User's Manual, Abaqus 6.12 Documentation.

- [16] **Url-2** <<http://www.csiamerica.com/products/sap2000/watch-and-learn>>, date retrieved 15.06.2015.
- [17] **EN 1998-1 Eurocode 8.** (2006). Design of structures for earthquake resistance Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for standardization, Brussels

EKLER

EK A: Teknik Resimler

EK A



Şekil A.1 : Kren modelinin önden ve üstten görünümü.

EK B: Sismik Analiz Sonucu Verileri

EK B

Çizelge B.1 : Ana kirişin yüksek şiddette sisimik analizi sonucu elde edilen bazı gerilme değerleri.

Düğüm Noktası No	S11 KN/m2	S22 KN/m2	S12 KN/m2
10	1519,93	204,39	34,86
30	5,9	94,43	88,63
20	154,29	48,58	380,9
40	41,72	146,96	65,68
50	582,49	36,28	162,88
60	1327,94	50,46	139,84
70	2328,14	315,51	113,62
80	1364,52	15519,21	376,2
100	1120,56	17321,31	260,72
90	405,15	166,73	461,42
110	667,62	128,24	734,68
120	352,68	88,38	195,86
130	1577,08	91,89	36,07
140	4915,98	312,66	972,12
150	5279,08	620,21	643,69
170	21038,45	137101,12	2099,59
210	174,43	5,6	165,68
220	120,61	2,06	94,81
230	400,09	920,94	76,73
240	206,5	258,99	63
300	362,96	174,29	202,28
320	84,72	328,95	106,98
330	742,18	1121,55	582,07
290	729,94	3952,1	3179,43
310	470,16	3431,99	2776,72
180	11,89	39,73	7,68
190	261,36	8,46	176,6
200	73,92	99,71	59,78
250	2630,43	41,37	238,26
260	739,28	74,55	67,29
270	5726,55	707,08	566,45
280	7401,9	1294,78	400,14
340	989,36	218,93	1207,32
350	1428,74	448,71	1049,6
160	36,48	122,42	4,02

Çizelge B.2 : Ana kirişin yüksek şiddette sisimik analizi sonucu elde edilen bazı yatay yer değişim değerleri.

Düğüm Noktası No	U1 m	U2 m	U3 m
10	0,000228	1,829E-16	1,021E-12
20	0,000228	5,585E-17	4,926E-12
30	0,000228	1,6E-16	0,000001849
40	0,000228	5,625E-17	0,000004315
50	0,000228	1,322E-16	0,000001233
60	0,000228	4,876E-17	0,000004931
70	0,000228	1,01E-16	8,751E-12
80	0,000228	2,615E-17	0,000005548
90	0,000662	4,424E-16	6,033E-12
100	0,000662	1,491E-16	0,000016
110	0,000662	3,938E-16	0,000001793
120	0,000662	2,686E-16	0,000014
130	0,000662	3,379E-16	0,000003587
140	0,000662	3,605E-16	4,794E-12
150	0,000662	2,743E-16	1,774E-11
170	0,000661	1,92E-17	0,000018
190	0,000227	1,82E-16	1,447E-15
200	0,000227	4,149E-17	3,121E-15
210	0,000227	1,811E-16	0,000003699
220	0,000227	3,094E-17	0,000002466
230	0,000227	1,626E-16	0,000004315
240	0,000227	1,414E-17	0,000001849
250	0,000227	1,243E-16	6,978E-16
260	0,000227	9,069E-18	2,448E-15
270	0,00066	1,254E-16	3,047E-15
280	0,00066	3,615E-16	1,166E-15
290	0,00066	1,297E-17	0,000018
300	0,00066	4,082E-16	1,361E-16
310	0,00066	6,452E-17	0,000018
320	0,00066	4,459E-16	0,000001793
330	0,00066	3,724E-17	0,000016
340	0,00066	4,709E-16	9,994E-16
350	0,00066	1,313E-17	3,915E-15

Çizelge B.3 : Ana kirişin düşük şiddette sisimik analizi sonucu elde edilen bazı gerilme değerleri.

Düğüm Noktası No	S11 KN/m2	S22 KN/m2	S12 KN/m2
10	695,62	92,13	87,07
30	8,54	43,68	42,24
20	107,44	22,45	200,35
40	35,73	66,12	152,99
50	240,47	1,86	78,47
60	570,31	23,89	59,63
70	1098,55	144	57,48
80	611,3	6943,02	32,15
100	498,12	7550,97	138,28
90	460,79	30,61	98,57
110	89,33	52,99	94,88
120	477,75	36,34	3,82
130	1189,78	302,2	205,21
140	1881,96	352,04	120,23
150	9463,35	61737,82	992,65
170	78,61	3,89	71,43
210	104,61	4,69	38,67
220	178,75	416,77	36,81
230	94,01	105,09	29,44
240	7,89	84,19	96,36
300	35,99	104,41	50
320	335,2	465,58	285,95
330	298,75	1715,1	1388,55
290	255,68	1568,81	1268,19
310	5,08	17	1,18
180	85,82	5,31	232,15
190	23,21	46,77	38,97
200	1151,89	26,57	225,18
250	275,47	37,3	13,43
260	2592,94	331,32	468,11
270	3098,15	589,98	73,73
280	322,07	92,82	241,95
340	1571,85	195,63	241,05
350	16,43	55,16	6,73
160	695,62	92,13	87,07

Çizelge B.4 : Ana kirişin düşük şiddette sisimik analizi sonucu elde edilen bazı yatay yer değişim değerleri.

Düğüm Noktası No	U1 m	U2 m	U3 m
10	0,000169	1,33E-16	3,62418E-13
20	0,000169	6,2E-17	1,74907E-12
30	0,000169	1,14E-16	1,37277E-06
40	0,000169	5,8E-17	3,20312E-06
50	0,000169	9,1E-17	9,15177E-07
60	0,000169	4,8E-17	3,66071E-06
70	0,000169	6,6E-17	3,10749E-12
80	0,000169	2,6E-17	4,1183E-06
90	0,000489	1,73E-16	2,14224E-12
100	0,000489	8,8E-17	1,1925E-05
110	0,000489	1,39E-16	1,325E-06
120	0,000489	1,54E-16	1,06E-05
130	0,000489	1,03E-16	2,65E-06
140	0,000489	2E-16	1,70244E-12
150	0,000489	6,5E-17	6,30093E-12
170	0,000169	1,8E-18	4,57588E-06
190	0,000489	1,4E-17	1,325E-05
200	0,000489	1,4E-17	1,325E-05
210	0,000168	1,34E-16	5,14E-16
220	0,000168	5,4E-17	1,108E-15
230	0,000168	1,34E-16	2,74553E-06
240	0,000168	4,6E-17	1,83035E-06
250	0,000168	1,21E-16	3,20312E-06
260	0,000168	3,2E-17	1,37277E-06
270	0,000168	9,3E-17	2,48E-16
280	0,000168	1,1E-17	8,69E-16
290	0,000488	7E-17	1,082E-15
300	0,000488	1,2E-16	4,14E-16
310	0,000488	8,32E-18	1,325E-05
320	0,000488	1,53E-16	9,7E-17
330	0,000488	4,6E-17	1,325E-05
340	0,000488	1,83E-16	1,325E-06
350	0,000488	4,9E-17	1,1925E-05

EK C: Hesap ve analiz sonucu elde edilen veriler

EK C

Çizelge C.1 : Klasik hesap ile analiz sonuçlarından elde edilen değerler.

	Mukavemet Hesabı Sonucu (Statik)	Abaqus SEM Analizi Sonucu (Statik)	SAP2000 SEM Analizi Sonucu (Yüksek Şiddette Sismik)	SAP2000 SEM Analizi Sonucu (Düşük Şiddette Sismik)
Maksimum Gerilme	180,00 MPa	166,00 MPa	21,04 MPa	9,46 MPa
Maksimum Sehim	55,56 mm	53 mm	0,66 mm	0.49 mm

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Kutay Çıtır
Doğum Tarihi ve Yeri : 11/01/1987, Amasya
E-posta : kutaycitir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2014 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde Kaynak Mühendisliği eğitimini tamamladı.