

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜZEN VEYA UÇ KAZIKLI RADYE TEMELİN DAVRANIŞININ ÜÇ BOYUTLU SONLU
ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Oğulcan ŞAHİN

**EKİM 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜZEN VEYA UÇ KAZIKLI RADYE TEMELİN DAVRANIŞININ ÜÇ
BOYUTLU SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

OĞULCAN ŞAHİN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 /09 /2021

Tezin Savunma Tarihi : 20 /10 /2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Yüzen veya Uç Kazıklı Radye Temelin Davranışının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi konulu bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Yaptığım yüksek lisans tez çalışmamdan her aşamasında hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak, çalışmam boyunca araştırma arzusu ve bilimsel düşünce disiplini öğreterek ufkumu açan, öğretmekten ve yol göstermekten hiçbir zaman vazgeçmeyen, bilgi ve tecrübelerinden daimi faydalandığım Prof. Dr. Erol Şadoğlu'na minnet ve şükranlarımı sunmayı her zaman için bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca fedakâr, adilane tutumlarıyla bana teşvikkar ve anlayışlı bir şekilde desteklerini esirgemeyen dostlarıma, öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime başlamama vesile olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen babam Nedim ŞAHİN 'e ve annem Penpe ŞAHİN 'e sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Oğulcan ŞAHİN

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yüzen veya Uç Kazıklı Radye Temelin Davranışının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Erol Şadoğlu'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/10/2021

Oğulcan ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
SİMGELER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Taraması	1
1.3. Temel Nedir ve Temel çeşitleri	3
1.3.1. Yüzeysel Temeller.....	4
1.3.1.1. Duvar Altı Temeller	4
1.3.1.2. Tekil Temeller	5
1.3.1.3. Birleşik Kolon Temelleri.....	6
1.3.1.4. Radye Temel.....	6
1.3.2. Derin Temeller.....	7
1.3.2.1. Kazıklı Temeller	7
1.3.2.2. Kuyu Temeller.....	8
1.3.2.3. Keson (Kutu) Temeller	8
1.4. Radye Temellerde Taşıma Gücü	9
1.5. Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi.....	10
1.5.1. Zemin-Yapı Etkileşiminde Alt Sistem Yaklaşımı	11
1.5.2. Zemin-Yapı Etkileşiminde Ortak (Doğrudan) Sistem Yaklaşımı	12
1.6.1. Deprem Durumunda Yapı Zemin Etkileşimi.....	12
1.6.2. Zemin-Temel-Yapı Etkileşiminde Dinamik Analiz Durumu.....	14
1.6.3. Yapının Davranışı.....	15
1.7. Yapı Zemin Analiz Yöntemleri	16
1.7.1. Dinamik Yapı Zemin Etkileşimi.....	16
1.8. Depremler	17
1.8.1. Depremlerin Oluşumu	17

1.8.2.	Deprem Türleri	18
1.8.3.	Deprem Parametreleri.....	19
1.8.4.	Deprem Yayılma Dalgaları.....	21
1.9.	Yeryüzündeki Faylar ve Tektonik Bölgeler	24
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	26
2.1.	Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Plaxis Yazılımı	26
2.1.1.	Sonlu Elemanlar Yöntemi	26
2.1.2.	Plaxis Yazılımı	27
2.1.3.	Plaxiste Zemin Davranış Modelleri	28
2.1.4.	Plaxis’de Modelleme	29
3.	BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	47
3.1.	Yüzen Kazık İçin	47
3.1.1.	Bina Ağırlığı.....	47
3.1.2.	Taşıma Gücü Hesabı.....	48
3.1.2.1.	Zemin İçin Taşıma Gücü Hesabı	48
3.1.2.2.	Yüzen Kazık İçin Taşıma Gücü Hesabı	48
3.1.2.3.	Oturma Hesabı.....	49
3.1.2.3.1.	Yüzen Kazık İçin Oturma Hesabı.....	52
3.1.2.3.2.	Uç Kazık İçin Oturma Hesabı	52
3.1.3.	Faz 1 İçin Statik Durumda Kazıkların Yük Paylaşım Oranları	53
3.1.4.	Faz-2 Dinamik Etkisi Altında İnceleme	56
3.2.	Uç Kazık İçin.....	65
3.2.1.	Bina Ağırlığı.....	65
3.2.2.	Taşıma Gücü Hesabı.....	65
3.2.2.1.	Zemin Taşıma Gücü Hesabı	65
3.2.2.2.	Uç Kazık Taşıma Gücü Hesabı	65
3.2.3.	Faz 1 İçin Statik Durumda Kazıkların Yük Paylaşım Oranları	66
3.2.4.	Faz-2 Dinamik Etkisi Altında İnceleme	68
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	77
5.	KAYNAKLAR.....	79

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1.	Temel türleri tablosu	4
Şekil 1. 2.	Duvar altı temel	5
Şekil 1. 3.	Tekil temel.....	5
Şekil 1. 4.	Birleşik temel	6
Şekil 1. 5.	Radye temel.....	6
Şekil 1. 6.	Kazıklı temel	7
Şekil 1. 7.	Kuyu temel	8
Şekil 1. 8.	Temel (yüzeysel) altındaki göçme mekanizması	9
Şekil 1. 9.	Alt sistem yaklaşımında öğeler	12
Şekil 1. 10.	Yapı temel zemin etkileşimi.....	13
Şekil 1. 11.	Yumuşak ve kaya zeminlerdeki hareket.....	14
Şekil 1. 12.	Periyot uzaması	16
Şekil 1. 13.	Yer kürenin hareketini gösterimi.....	18
Şekil 1. 14.	Sismik deprem dalgalarının yayılışı.....	19
Şekil 1. 15.	Deprem dalgalarının hareketi	20
Şekil 1. 16.	P dalgası	22
Şekil 1. 17.	S dalgası	23
Şekil 1. 18.	Depremin ana noktasından dağılan dalgaların farklı katmanlardaki durumu	23
Şekil 1. 19.	Yerküresindeki s ve p dalgaları	24
Şekil 1. 20.	Ayrılan levhalar	24
Şekil 1. 21.	Çarpışan levhalar	25
Şekil 2. 1.	Ankastre çubuk sistemde bilinmeyenler.....	26
Şekil 2. 2.	Zeminde Mohr-Coulomb akma tarifi.	28
Şekil 2. 3.	Zeminin taban yüzey alanı	31
Şekil 2. 4.	Zemin katmanları ve su seviyesi	32
Şekil 2. 5.	Kum zemini değerleri.....	32
Şekil 2. 6.	Kum zemini değerleri.....	33

Şekil 2. 7.	Kaya toprağı değerleri	33
Şekil 2. 8.	Kaya toprağı değerleri	34
Şekil 2. 9.	Üst yapı zemin görünümü	34
Şekil 2. 10.	Üst yapı kolon zemin kat görünümü	35
Şekil 2. 11.	Üst yapı kolonları x-x yönünden görünümü	35
Şekil 2. 12.	Üst yapı x-x zemin kat kirişı	36
Şekil 2. 13.	Üst yapı y-y zemin kat kirişı	36
Şekil 2. 14.	Üst yapının zemin kat döşeme görünümü	37
Şekil 2. 15.	Üst yapının döşemeleri	37
Şekil 2. 16.	Kolon malzeme özellikleri	38
Şekil 2. 17.	Kiriş malzeme özellikleri	38
Şekil 2. 18.	Döşeme malzeme özellikler	39
Şekil 2. 19.	Döşeme yük değerleri.....	40
Şekil 2. 20.	Kolonları yük gösterimi	41
Şekil 2. 21.	Kirişlerin yük gösterimi	41
Şekil 2. 22.	Radye temel görünümü	42
Şekil 2. 23.	Radye temel altı kazıklar	42
Şekil 2. 24.	Kazıkların malzeme özellikleri	43
Şekil 2. 25.	Zemin dinamik yük etkisi.....	43
Şekil 2. 26.	Zemine etki ettirilen dinamik yükün sisteme yüklenmesi.....	44
Şekil 2. 27.	Radye temel beton özellikleri.....	44
Şekil 2. 28.	Faz 1 gösterimi	45
Şekil 2. 29.	Dinamik yük etkisi altında faz 2	45
Şekil 3. 1.	Kazık alt ve üst noktaları deformasyonu.....	56
Şekil 3. 2.	1-2-3. katlar deformasyonları	57
Şekil 3. 3.	4-5-6. katlar deformasyonları	57
Şekil 3. 4	Kazık alt ve üst nokta ivmesi	58
Şekil 3. 5.	1-2-3. katlar ivmesi	58
Şekil 3. 6.	4-5-6. katlar ivmesi	59
Şekil 3. 7.	Kazık alt ve üst noktası kesme kuvveti	59
Şekil 3. 8.	1-2-3-4-5-6. kat kesme kuvveti	60
Şekil 3. 9.	Kazık alt ve üst noktası deformasyon	69
Şekil 3. 10.	1-2-3.kat deformasyonu	69

Şekil 3. 11.	4-5-6. kat deformasyonu.....	70
Şekil 3. 12.	Kazık alt ve üst noktası ivme	70
Şekil 3. 13.	1-2-3. kattaki ivme	71
Şekil 3. 14.	4-5-6. kattaki ivme	71
Şekil 3. 15.	Kazık alt ve üst noktası kesme kuvveti	72
Şekil 3. 16.	1-2-3-4-5-6. kat kesme kuvveti	72



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. 1.	Terzaghi taşıma gücü katsayıları.....	10
Tablo 1. 2.	Şiddet ve büyüklük değerleri.....	21
Tablo 2. 1.	Yumuşak kaya zemin bilgileri	30
Tablo 2. 2.	Kum zemin bilgileri	30
Tablo 2. 3.	Döşeme sabit yük	39
Tablo 2. 4.	Döşeme hareketli yük.....	40
Tablo 2. 5.	Kiriş yük.....	40
Tablo 2. 6.	Kolon yük.....	40
Tablo 3. 1.	Katsayılar tablosu.....	48
Tablo 3. 2.	Sınır Oturma Değerleri.....	50
Tablo 3. 3.	If derinlik katsayısı tablosu	50
Tablo 3. 4.	F1 katsayısı tablosu	51
Tablo 3. 5.	F2 katsayısı tablosu	51
Tablo 3. 6.	Yüzen kazık statik durumda kazıkların normal kuvvetler tablosu.....	54
Tablo 3. 7.	Yük paylaşım oranları tablosu.....	55
Tablo 3. 8.	Dinamik zamanda kazıkların saniyelik normal kuvvetleri (kN)	60
Tablo 3. 9.	Dinamik zamanda kolon normal kuvvetleri (kN)	62
Tablo 3. 10.	Yüzen kazık için yük paylaşım oranları.....	64
Tablo 3. 11.	Sabit katsayılar	65
Tablo 3. 12.	Uç kazık için statik durumda kazıkların normal kuvvetleri	66
Tablo 3. 13.	Statik durum için yük paylaşım oranları	68
Tablo 3. 14.	Uç kazıkta dinamik zamanda kazıkların normal kuvvetleri.....	73
Tablo 3. 15.	Uç kazıkta dinamik zamanda kolonların uç kuvvetleri (kN)	75
Tablo 3. 16.	Uç kazıkta dinamik zamanda yük paylaşım oranları	76

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Yüzen veya Uç Kazıklı Radye Temelin Davranışının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi

Oğulcan ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erol Şadoğlu
2021, 81 Sayfa

Dünyada her geçen gün insan nüfusu artmaktadır. İnsan nüfusunun artmasıyla ve insanların kentselleşmesinden dolayı barınma ihtiyacı da artmaktadır. Barınma ihtiyacının artmasından kaynaklı binaların kat sayıları da artış göstermektedir. Türkiye’de zemin yapısından kaynaklı kat sayılarının artmasından dolayı yapı zemin etkileşimi önemli bir problem olmuştur. Bu yüzden temel sistemi için derin temeller tercih edilmektedir. Derin temel türlerinden kazıklı temeller yapı yüklerinin yüzeysel temel ile taşınmadığı durumlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Kazıklı radye temeller, kazık ve radyenin yük taşıma kapasitelerini birleştiren bir temel sistemi. Üç boyutlu sonlu eleman yöntemiyle, okul amaçlı kullanılacak betonarme üst yapının, kazıklı radye temelin ve temel zemininin numerik modelleri oluşturulmuştur.

Yapılan modelde, okul için kullanılacak betonarme üst yapının uç ve yüzen kazığa göre kazıklı radye temelin davranışı incelenmiştir. Yapı ilk durumda 20 m derinliği ele alınan zeminde yüzen kazık (11 m kum 9m kaya) olarak modellenmiş ikinci durumda ise uç kazık (8 m kum 12 m kaya) olarak modellenmiştir. Kolon, kiriş ve döşeme yükleri ve malzeme özellikleri belirleyerek Plaxis 3D programıyla analizler yapılmıştır.

Nümerik analizlerin sonuçlarından, zemin türünün daha sağlam bir ana kaya olduğunda kazıkların yük taşıma oranlarının yüksek olduğu dinamik ve statik durumda farkına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı-Zemin Etkileşimi, Dinamik Analiz, Nümerik modelleme

Master Thesis

SUMMARY

Investigation of the Behavior of Floating or End Piled Raft Foundations by Three
Dimensional Finite Element Method

Oğulcan ŞAHİN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Erol Şadoğlu
2021, 81 Page

The human population is increasing day by day in the world. With the increase in the human population and the urbanization of people, the need for shelter also increases. Due to increase in the need for shelter, the number of floors of the buildings also increases. Building-soil interaction has become an important problem in Turkey due to the increase in the number of floors due to the soil structure. Therefore, deep foundations are preferred for the foundation system. Pile foundations, one of the deep foundation types, are frequently used when the structural loads cannot be carried by the shallow foundation. Pile raft foundations are a foundation system that combines the load-bearing capacities of pile and raft. With the three-dimensional finite element method, numerical models of the reinforced concrete superstructure, piled raft foundation and foundation soil to be used for school purposes were created.

In the model, the behavior of the piled raft foundation with respect to the end and floating piles of the reinforced concrete superstructure to be used for the school was investigated. In the first case, the structure was modeled as a floating pile (11 m sand 9 m rock) in the soil at a depth of 20 m, and in the second case it was modeled as an end pile (8 m sand 12 m rock). Analyzes were made with the Plaxis 3D program by determining the column, beam and slab loads and material properties.

From the results of the numerical analysis, it was noticed that the load bearing ratios of the piles are high in the dynamic and static situations when the soil type is a strong bedrock.

Keywords: Structure-Soil Interaction, Dynamic Analysis, Numerical modeling

SİMGELER DİZİNİ

A	:	Alan
A_p	:	Kazığın uç alanı
B	:	Radye temel genişliği
C_{ref}	:	Kohezyon
D	:	Derinlik
D_f	:	Temel gömülme derinliği
E'	:	Elastisite Modülü
E_{oed}	:	Ödometrik Modülü
G	:	Kayma modülü
I_2	:	Atalet momenti (x-x)
I_3	:	Atalet momenti (y-y)
g	:	Sabit yük
m	:	Metre
S_i	:	Oturma
q	:	Hareketli yük
(ν')	:	Poission Oranı
δ	:	Zemin ve kazık arasındaki ara yüzey sürtünme açısı
γ	:	Birim hacim ağırlığı
γ_{unsat}	:	Doymamış birim hacim ağırlığı
ε	:	Birim şekil değiştirme
α, β	:	Rayleigh sönüm kat sayısı
Φ'	:	İçsel sürtünme açısı

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada her gün insan nüfusu artmaktadır. Artan insan nüfusu ve kentselleşmeden dolayı insanların barınma ihtiyacı artmaktadır, barınma ihtiyacının artmasından kaynaklı binalarda yüksek katlı yapılara ihtiyaç doğmaktadır. Yumuşak, gevşek ve alüvyal zeminlerden kaynaklı yapı zemin etkileşimi önemli bir problem haline gelmiştir. İnşaat mühendislerinin ilgili olduğu önemli bir problemdir. Zemin taşıma gücü için temel sistemini oluşturması sadece yeterli olmamaktadır aynı zamanda oturmada dikkate alınması gerekmektedir. Bu oturmaları aşılması ve önlenmesi için kazıklar önemli rol oynamaktadır.

Taşıma gücü az ya da dolgu zeminlerde inşaat yapılması durumunda kullanılan radye temel veya kazıklı temeller kullanılmaktadır. Kazıklı radye temel kendi ağırlığı ve yapıdan gelen yükü zemine iletmek için kullanılan bir temel çeşitidir. Bu temel sistemi; düşey, yatay ve dinamik yükler altındaki davranışları çeşitli yönleri ile araştırılmaktadır. Kazıklardaki oturmalar, kazıkların yük paylaşımları, radye yük paylaşım oranları incelenmektedir.

Tez çalışmasında; kazıklı radye temellerin düşey yükler ve dinamik yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Bu davranışlar üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Bu konuda Plaxis 3D kullanılmış kazıkların statik ve dinamik andaki yük paylaşım oranları kazıkların uç ve yüzen kazık durumunda incelenmiştir.

1.2. Literatür Taraması

Ottaviani (1975), üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle kazıklı radye temelde, radyenin zeminle etkileşimini araştırmak için analizler yapmıştır. Temel, 3x3 ve 3x5 kazığa sahip kazıklı radye olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak, zemine yük aktaran radyenin yükün bir kısmını direkt olarak zemine aktardığı ve kazıkların zemine aktardığı yük davranışında etkili olduğu ifade edilmiştir.

Hain ve Lee (1978), radye temel altında belirli aralıklarla yerleştirilmiş kazıklar ve zemin arasındaki etkileşimi belirleyebilmek amacıyla bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir. Geliştirilen yazılımda modellenen zemin ortamı, 4 düğümlü kare ve

dikdörtgen sonlu elemanlara ayrılmıştır. Kazıklar ve zemin ortamında, belirlenen aralıklara göre düğümler oluşturulmuştur. Bu düğümler, kazık düğümleri ile zemin düğümleri olarak isimlendirilmiştir. Her bir düğüm için kazık ve zemin etkileşimleri ve daha sonra tüm sistem için düşey oturmalar ve taşıma güçleri belirlenmiştir. Yöntemin; radye temelde çok fazla eğilme mevcutsa, zemindeki düğüm sayısı çok fazla olduğu için hesaplama işlemlerinin de çok zaman alması, kazık zemin etkileşiminde radyenin etkisinin göz önüne alınmadığı ve kazığın rijitliğinin Young modülü ile korale edildiği için sonuçların hatalı olabilmesi gibi bazı kısıtlayıcı tarafları olduğu ifade edilmiştir.

Poulos (1993), problemlı zeminler için (oturan ve şişen) kazıklı radyelerin tasarımını incelemiştir. Poulos çalışmasında radyenin taşıma kapasitesi açısından tek başına yeterli olduğu durumlarda bu tip zeminlerde radyeye stratejik olarak yerleştirilmiş birkaç kazık takviyesi ile temeldeki oturma ve farklı oturma problemlerinin çözülebileceğini belirtmiştir. Çalışmasında, kazıklı radye temellerin performansı üzerinde haricen oluşan zemin hareketlerinin etkisini araştırmıştır. Poulos çalışmasında, zeminde emme veya efektif gerilme değişimlerinin sonucu olarak oturma ya da şişme hareketlerine bağlı olarak zemin-radye-kazık etkileşimlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Çalışma sonucunda; zemin konsolidasyona maruz ise basınç yükleri kazıklara negatif çevre basıncı olarak etki etmekte ve zeminin küçük hareketleri için bile radyenin ağırlığı kazıklara binmektedir. Ayrıca; zemin şişme hareketine maruz ise bu sefer hem şişen zeminin hareketinden hem de radyenin altında oluşan basınç kuvvetlerinden dolayı çekme yükü kazıklara binmektedir. Her iki durumda da kazıklı radyenin hareketi tek başına kazık grubunun hareketinden daha büyük olmaktadır. Yazar harici düşey zemin hareketlerinin olması durumunda kazıklı radye kullanımından kaçınmanın en iyi çözüm olacağını belirtmiştir.

Omeman (2012)'de yaptığı çalışmasında düşey yüklere maruz kum bir zemindeki kazıklı radyelerin yük paylaşımlarını PLAXIS 2D programı yardımı ile incelemiştir. Çalışmada parametre olarak; uygulanan yük, kazık çapı, kazık boyu, kazık aralığı, kazık-zemin ve radye elastisite modülü, kazık-zemin ara yüzey dayanımını azaltma faktörü, zeminin Poisson oranı, zeminin içsel sürtünme açısı, zeminin hacimsel genişim açısı, zeminin birim hacim ağırlığı, radye kalınlığı, radye genişliği seçilmiştir. Bu parametrelerin yük paylaşımındaki etkileri sonlu elemanlar programı yardımı ile araştırılmıştır.

Vu vd. (2014) farklı kazık parametrelerine sahip kazıklı radye temeller üzerine nümerik analizler yapmıştır. PLAXIS 3D yazılımını kullanıldığı bu nümerik analizlerde

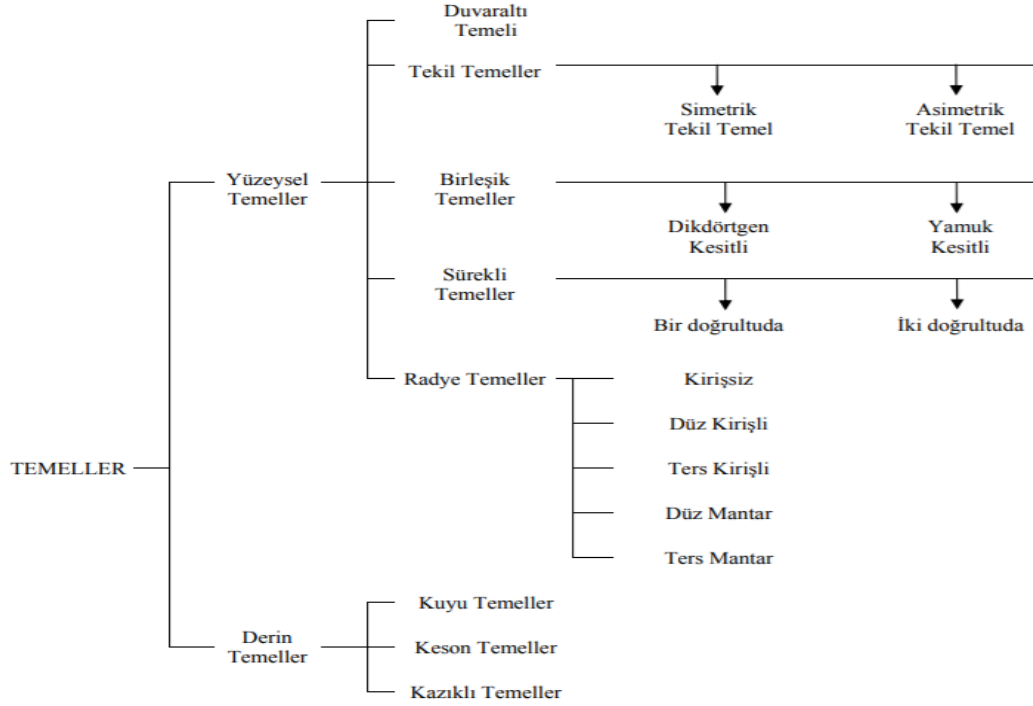
kazık sayısının, kazık uzunluğunun, kazık boyunun, kazık çapının ve kazık yerleşim düzeninin kazıklı radye temellerin davranışını üzerine etkisini araştırmıştır. Nümerik analizlerden söz konusu parametrelerin, kazıklı radye temel davranışında önemli etkilere sahip olduğunu belirlenmiştir.

Watcharasawe vd. (2015) yumuşak zemine sahip düşük ve yüksek katlı yapıları sonlu elemanlar metodu ile çözümleme yapan PLAXIS 3D programında analiz etmiştir. Zemin modellerken Mohr-Coulomb modeli tercih edilmiş olup; yük-deplasman değerleri elde edilmiştir. Analizler sonunda radye kalınlığının temel davranışında etkili bir parametre olduğu görülmüştür. Yapının bodrum katı arttıkça kazıklı radye temelinde taşıma gücünde değişimler meydana geldiği belirtilmiştir.

1.3. Temel Nedir ve Temel çeşitleri

Bir yapıya gelen yüklerin güvenle zemine iletilmesi gerekmektedir. Kolon, kiriş, döşeme, perde ve duvar gibi elemanlardan gelen yüklerin kendi ağırlığıyla birlikte taşıyan ve zemine iletilmesini sağlayan elemana temel denir.

Temel tasarımı yapılırken; zemin özellikleri, zeminin taşıma gücü yani zemin parametreleri, yapı yükü, yapı yükünden dolayı oluşabilecek oturmalar, bölgenin deprem sınıfı, çevresel faktörler gibi zemin ve yapı parametreleri göz önüne alınarak, zemin ile ilgili gerekli hesapların yanı sıra, zemin – yapı ilişkisi göz önünde bulundurularak temel tasarımı yapılmalıdır (Şekil 1.1).



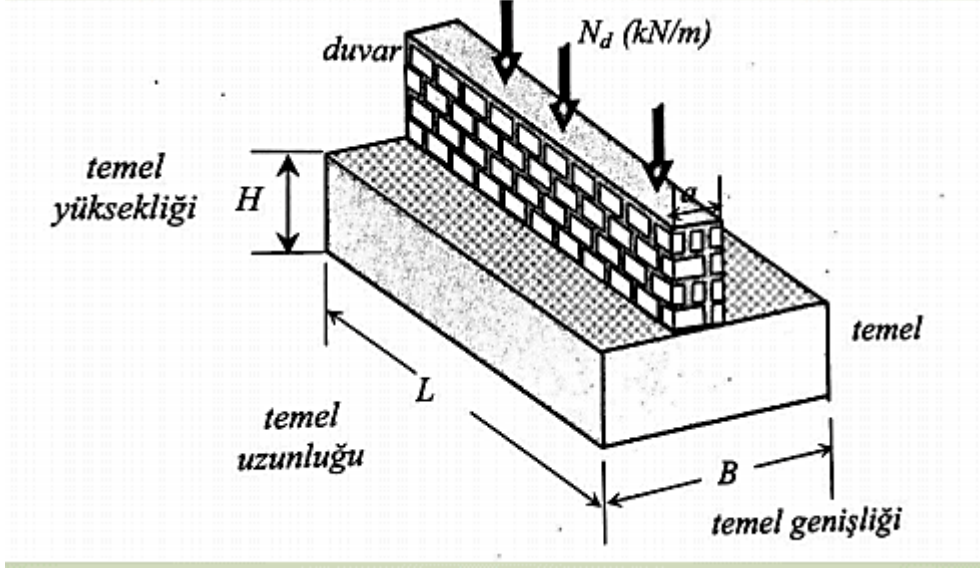
Şekil 1. 1. Temel türleri tablosu

1.3.1. Yüzeysel Temeller

Yapı yükünün, zemin yüzeyine yakın bir yerde ve tasman sınırı içerisinde, güvenle aktarılmasına uygun zemin bulunması durumunda uygulanır. Temel, kaya dahi olsa zemin yüzeyine oturtulmaz. Mutlaka don seviyesinin altına inmelidir. Bu tür temeller hem kuru ve hem de sulu zeminlerde uygulanabilir. Yüzeysel temeller 5 gruba ayrılır.

1.3.1.1. Duvar Altı Temeller

Yığma kagir yapılarda veya herhangi bir yapıdan bağımsız olan taşıyıcı duvarların altında, bu duvarlardan daha geniş bir alana sahip ve taşıyıcı duvar yükünü zemine güvenli bir şekilde aktarmak için oluşturulan elemanlardır. Bu tip temellere “duvar altı temeli” denir (Şekil 1.2).

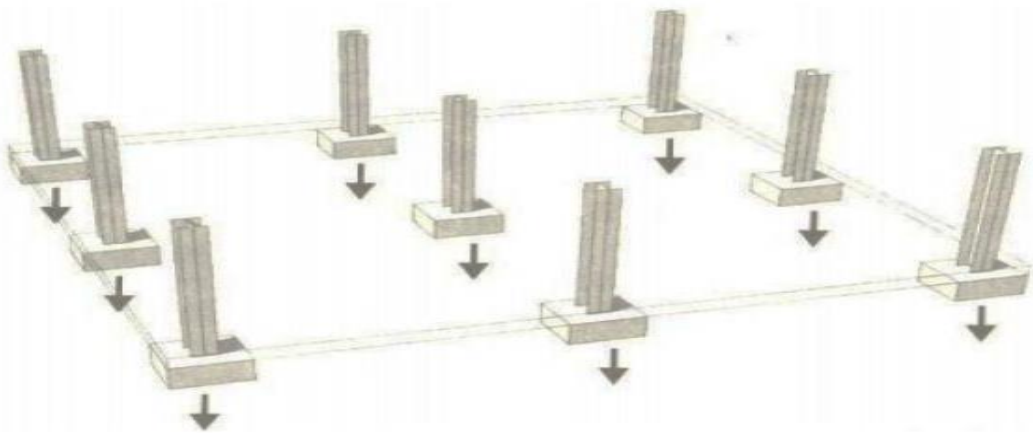


Şekil 1. 2. Duvar altı temel

1.3.1.2. Tekil Temeller

Yapıların her bir kolonu altında olan temellerdir. Yapıdan gelen yükü kendi ağırlığıyla birlikte geniş bir alana yayarak zemine iletirler (Şekil 1.3).

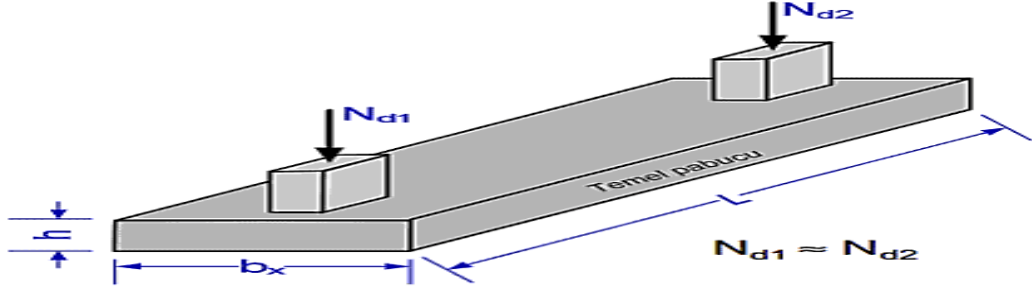
Münferit veya ayak temel de denilen bu temeller, temel zemininin orta sertlikte ve bina ağırlığının daha az olması durumlarında uygulanır. Tekil temeller zemine, genellikle kare veya dikdörtgen, nadiren de daire ya da çokgen tabanlı temeller oturtulur (Özcan, 2000).



Şekil 1. 3. Tekil temel

1.3.1.3. Birleşik Kolon Temelleri

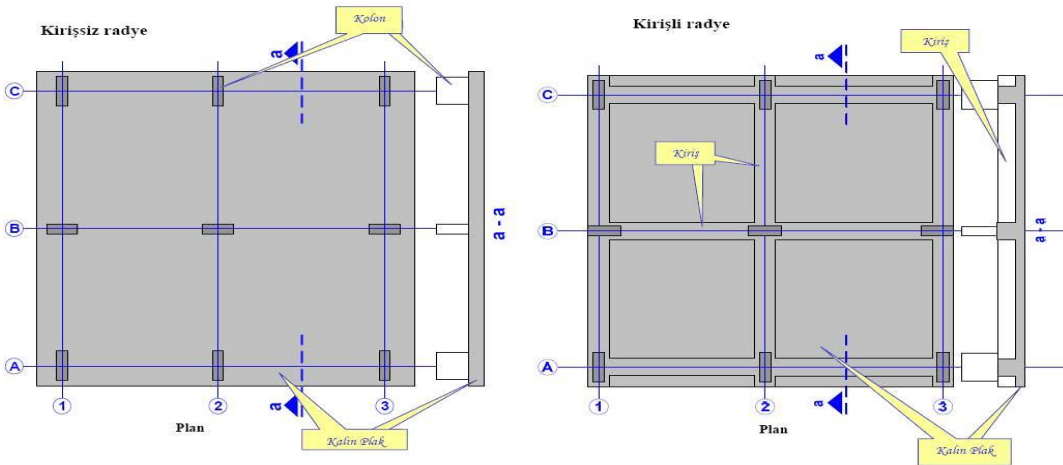
Birbirine yakın olan iki kolon karşılaşması gereken yüklerin büyük olması gerektiğinden temel boyutları da büyük olabilir ve iki kolonun temeli çakışabilir. Bu durumda eğer temel sürekli temel yapılamıyorsa, iki kolonun temele birleştirilerek birleşik temel yapılır (Şekil 1.4).



Şekil 1. 4. Birleşik temel

1.3.1.4. Radye Temel

Radye temeller, gevşek ve taşıma kapasitesi düşük zeminlerde yapıdan kaynaklı yüklerin daha geniş alana yayılması, böylece oturmaların azaltılması amacıyla kullanılan, oturma alanı çoğunlukla binanın yerleşme alanına denk olan yüzeysel temel çeşididir. Kolonların arasındaki mesafenin düşük olması, bu nedenle de kolonlar altına inşa edilen tekil temellerin üst üste bineceği durumlarda radye temeller tercih sebebidir (Şekil 1.5).



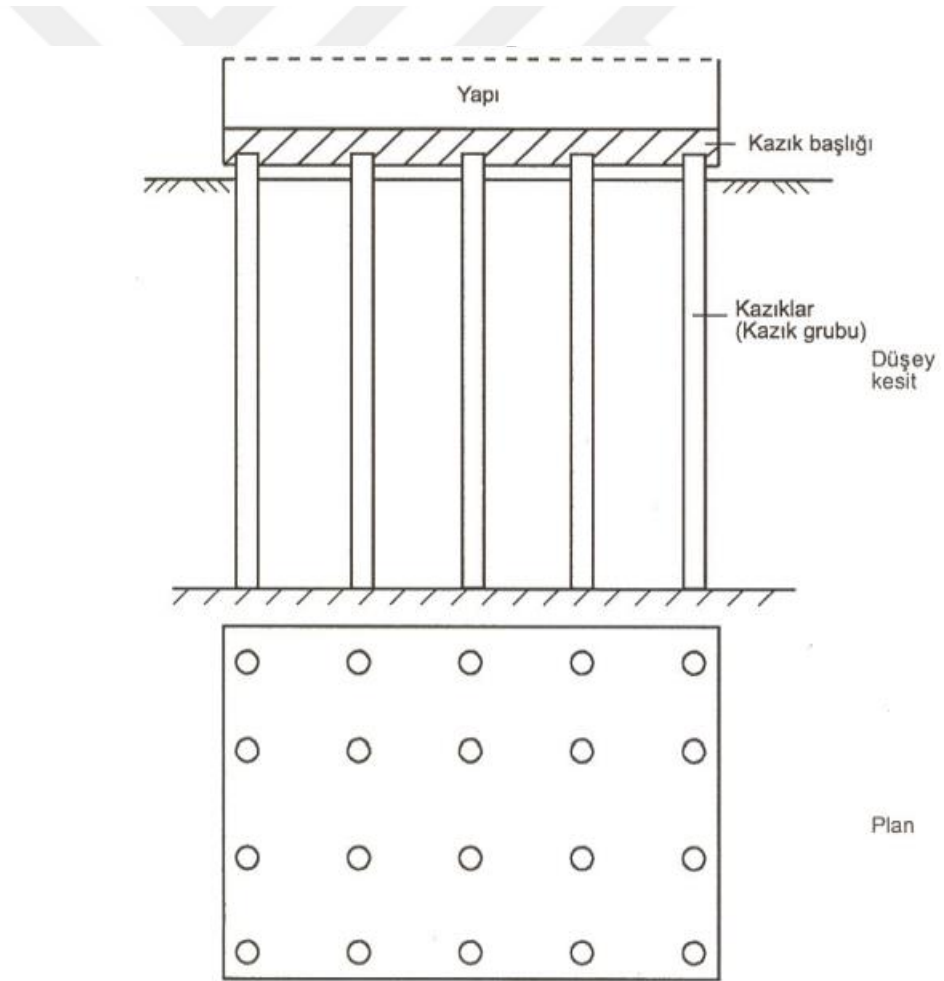
Şekil 1. 5. Radye temel

1.3.2. Derin Temeller

1.3.2.1. Kazıklı Temeller

Yapı yükü, zemine çakılan kazıklar kanalıyla, derinlerde bulunan sağlam zemine, kazık uçlarıyla ya da kazığın yan yüzeylerinin sürtünmesinden yararlanarak aktarılır. Zemine belirli aralıklarla çakılan bu kazıklar birbirine, üst kısımlarına atılan bağ kirişleri ve ızgaralarla bağlanır (Özcan, 2000).

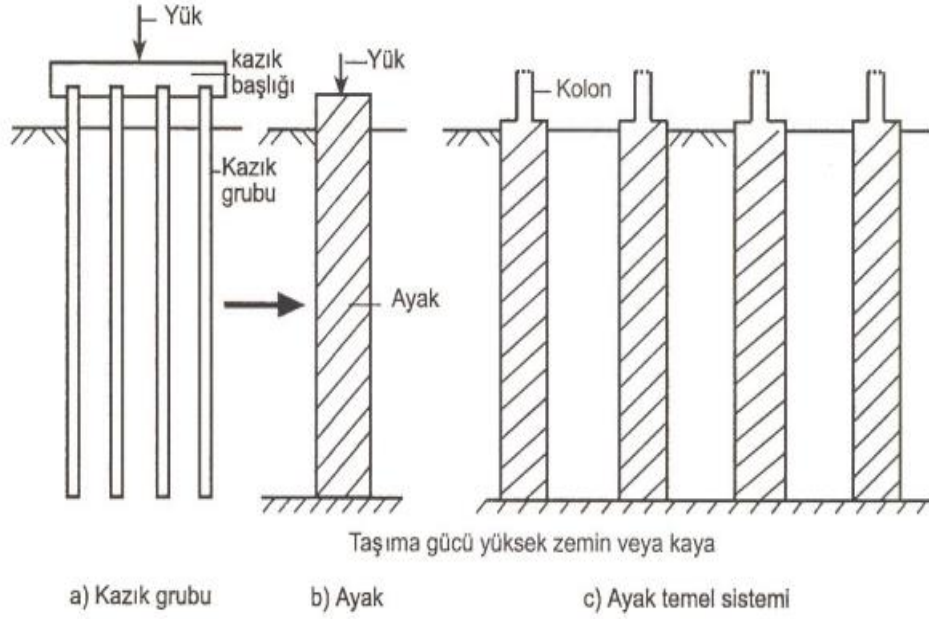
Kazıklı temeller birçok kazıktan oluşur (kazık grubu). Kazık; uzun silindirik veya prizmatik, ahşap, beton(arme), çelik vb. elemandır (Şekil 1.6). Kazıklar; ya hazır olarak zemine çakılır veya zeminde çeşitli yollarla kaplanmış veya kaplanmamış uzun silindirik bir boşluk oluşturarak içine donatı konularak, beton dökülerek oluşturulur (Uzuner, 2006).



Şekil 1. 6. Kazıklı temel

1.3.2.2. Kuyu Temeller

Kuyu temeller tekil temeller gibi ve genellikle betonarme olarak inşa edilir (Şekil1.7). Ayaklar, planda belirtilen duvarların birleşme noktalarına getirilir ve tabanları, kare veya çan şeklinde genişletilir. Açık temel çukurunda inşa edilen bu ayakların üst kısımları, birbirine betonarme kirişlerle bağlanır (Özcan, 2000).



Şekil 1. 7. Kuyu temel

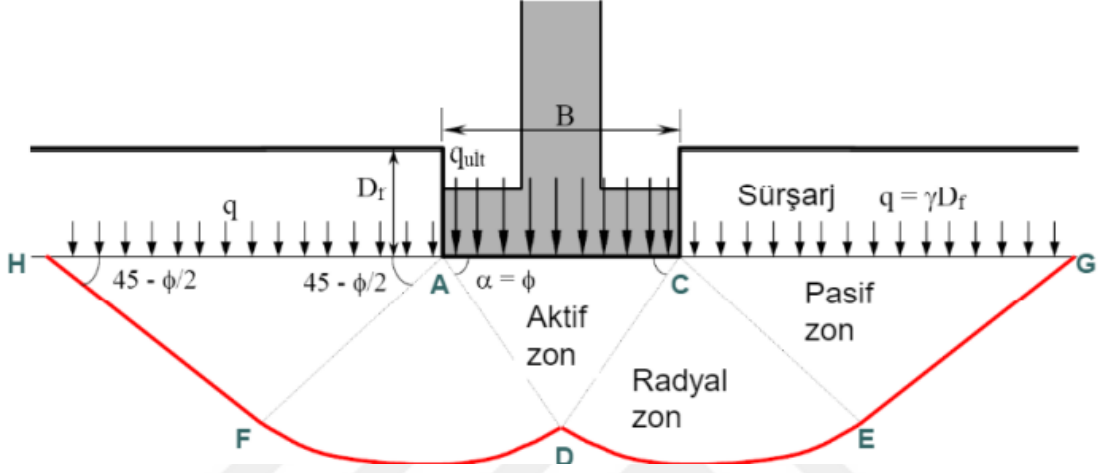
1.3.2.3. Keson (Kutu) Temeller

Keson adı serbest su yüzeyi veya su seviyesinin derin ve yüksek olduğu, özellikle köprü ayağı veya arıtma tesisi gibi yapılarda zemine indirilerek içinde çalışılan kutu biçimli temelden kaynaklanmıştır. Kutu temelin özelliği kuruda imal ve inşa edilerek yerine indirilmesi ve gerektiğinde içinde elle kazı yapılabilmesidir (Önalp ve Sert, 2006).

Sağlam zeminin derinde olması keson temel ve kazık temellere göre daha geniş ve sağlam temel yapmak gerektiği durumlarda uygulanır. Bu tip temeller, zemin üzerinde içerisi boş olarak inşa edilip, ağırlığından da yararlanılarak istenilen derinliğe indirmek suretiyle oluşturulur. Genellikle köprü ayağı, deniz feneri, dalga kıran vb. yapılarda kullanılır (Özcan, 2000).

1.4. Radye Temelerde Taşıma Gücü

Temeller (yüzeysel) altındaki zeminde göçme mekanizmasının Şekil 1.8'de ki gibi meydana geleceği varsayılır ve kaymaya sebep olan kuvvetler ile engel olan kuvvetler dengelenerek sınır koşullar için analiz yapılır (Terzaghi ve Peck, 1968).



Şekil 1. 8. Temel (yüzeysel) altındaki göçme mekanizması

Terzaghi'nin nihai taşıma gücü bağıntısını radye temeller için şu şekildedir:

$$q_u = c.N_c.F_{cs}.F_{cd}.F_{ci} + \gamma . D_f .N_q .F_{qs}.F_{qd}.F_{qi} + \frac{1}{2}.\gamma .B . N_\gamma .F_{\gamma s}.F_{\gamma d}.F_{\gamma i} \quad (1.1)$$

Burada; c: kohezyon (kN/m^2)

γ : birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

D_f : temelin derinliği (m)

B: temelin genişliği (m)

N_c , N_q , N_γ : taşıma gücü katsayıları

F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$: şekil katsayıları

F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$: derinlik katsayıları

F_{ci} , F_{qi} , $F_{\gamma i}$: yük-eğim katsayılarını ifade etmekte olup; katsayıları Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1. 1. Terzaghi taşıma gücü katsayıları

ϕ (Derece)	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	36,0
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5

1.5. Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi

Kentselleşme, sebebiyle insan sayısının artmasıyla, binaların kat sayıları ve buna bağlı olarak gömme derinliklerinin yükselmesi günümüzün yok sayılmaz bir doğrusu olarak toplum yaşamını etkilemektedir. Günümüz çağında insan ihtiyaçlarının fazlaşması ve çeşitlenmesi, zamanın değerli olması, sanayileşmiş toplumlarda doğal olarak yeraltı ve yerüstü yapılarını etkilemiştir. Yapılaşma önceki gibi az katlı ve az yerleşim gibi değil yapılar arasındaki mesafenin az ve yapıların yüksek katlı olması ihtiyacını ortaya çıkmıştır. Bu nedenle kentlerde boş arazi sayıları azaldığından yapıların dip dibe ve çok katlı olmasına neden olmasından dolayı daha farklı zemin sorunlarının çözülmesi gerekmektedir. Bunun ilk ortaya çıkan örneklerinden biride zemin-yapı etkileşimi konusudur. Yoğun şehirleşme ile birlikte ovalara ve alüvyal karakterli denizsel bölgelere giden kent yoğunluğu zemin problemlerinin çözümünü zorunlu hale gelmiştir. Örneğin çok katlı bir yapının derin bodrum kazısında, yanındaki yapıların bu durumda oluşacak etkinin nasıl, ne kadar deformasyona uğrayacağı veya bir tünel inşasında binaların ne kadar oturacağı, ya da bir şehir merkezinde bir kazık çakılırken diğer tüm binaların dinamik olarak ne kadar etkileneceği önceden hesaplanmalıdır. İş içine bir de şehirlerin alüvyal zemin alanlarına inşaatı yapılıncaya, depremin ve diğer titreşim sebeplerinin bu zemin kesitlerini etkileme türünün sorunlarına daha ince analiz yöntemlerine bakılması gerekmektedir. Zemin-yapı etkileşimi temel açılımı bakımından zeminin yapıyı, yapının da zeminin etki-tepki olarak etkilemesidir. Bu durumda dinamik zemin hareketlerinde (Örn. kazık çakma, deprem, araç geçişleri) zeminin iç kısmındaki temeller bu titreşimlerden yapının bir bölümü olarak etkilenir. Açıkçası

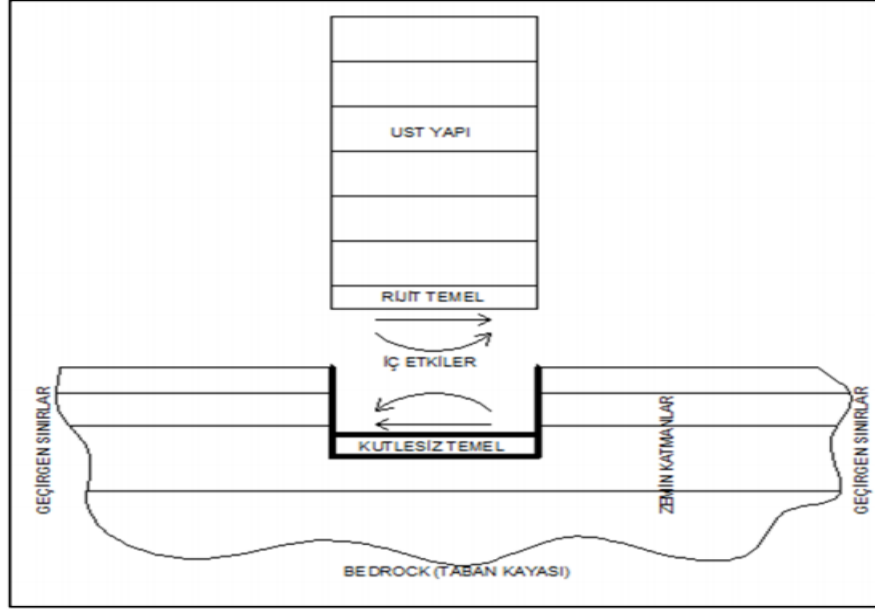
zemindeki dalga dağılımı yüzey kısmına vardığında yapı temeline vurur. Bu dalganın vurmasından dolayı, rijitliğinden dolayı temele ait doğal frekansına göre titreşir. Bu titreşim anında dalgaların bir bölümü zemine geri hareket eder, geri kalan bölümü ise temel aracılığıyla üstyapıya geçer. Üstyapı aldığı bu gelen etki sebebiyle, kendisine ait frekans, periyot, rijitlik tanımlarının fonksiyonu olarak titreşimlerle sönümler. Diğer bir taraftan yapıya giden bu titreşim hepsi sönümlenemez. Sönümlenmeyen (ısıya dönüşmeyen) bölümü geri yansıtılarak zemin bölgesine döner. Buna kısaca zemin-yapı etkileşimi denir.

Bazen de yapı kaynaklı titreşimler ilk yapıyı etkileyerek, dalga yayılma özelliği sebebiyle temele daha sonra zemin ortamına gider. Depremin tersi olarak belirtilen bu hareket, genel problemin aynı karakteristik özelliklerini taşır. Örneğin, yapı içindeki ağır pres makinaları, titreşimli makinaların etkileri ilk üst yapı sistemine sonra da temel ve zemin bölgesine geçer. Her iki durumda da (yapı kaynaklı-zemin kaynaklı) titreşim transferlerinin ve bunların yapı ve zeminde oluşturduğu şekil değiştirmeleri ve gerilmelerin bulunması için bir analiz modeline gerekmektedir.

Bu analiz yöntemlerinin iki farklı durumda modellenmesi önerilmektedir. Birincisi “alt sistem yaklaşımı”, ikincisi ise “doğrudan yöntem” yaklaşımıdır. Bu yaklaşımlardan hangi durumun kullanılması gerektiği, zeminin rijitlik durumları ile birlikte yapının da rijitlik ve dinamik durumlarına (frekans öz değerleri, davranış modları) sebep olduğu denilebilir.

1.5.1. Zemin-Yapı Etkileşiminde Alt Sistem Yaklaşımı

Bu sistemde yapı farklı bir yöntem, zemin ve temel farklı bir yöntem olarak modellenir. Model tasarımı sonlu eleman şeklindedir. Her bir sistem sonlu sayıda bileşenlere ayırılarak kendi modelini oluşturur. Sonrasında kendine ait dış kuvvetleri ve rijitlik özellikleri ile oluşturulan alt sistemler ortak noktalarında birleştirilerek etkileri birbirlerine geçirilir. Bu süperpoze üst sistemin çözümünde iç kuvvetler, deformasyonlarda bulunur. Bu etkileşim kinematik etkileşime dayanır. Yani her sistem ilk kendi dış ve iç kuvvetleri ile birbirinden alakasız bir biçimde analiz edilir, sonra da ortak noktalardaki bağ kuvvetleri birleştirilerek global rijitlikleri bulunan matris çözümlenir (Şekil 1.9).



Şekil 1. 9. Alt sistem yaklaşımında ögeler

1.5.2. Zemin-Yapı Etkileşiminde Ortak (Doğrudan) Sistem Yaklaşımı

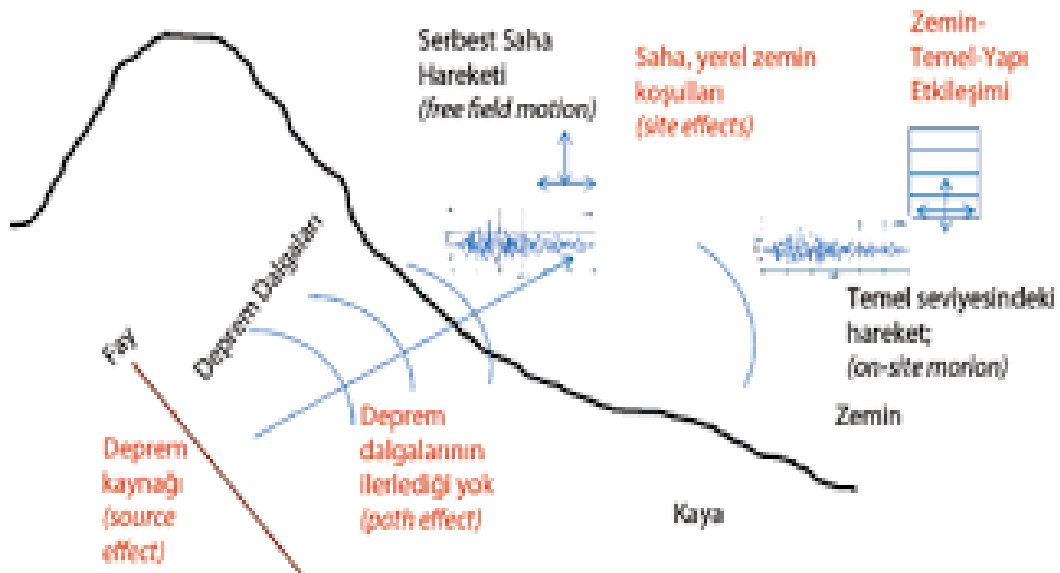
Ortak sistem yaklaşımının yapı zemin dinamik etkileşimi problemlerinin çözümünde kullanılması, alt sistem yaklaşımı ile eş zamanlıdır. Pek çok yapı mühendisinin bu yöntemi kullanmasındaki etkenlerden bazıları, zemindeki geometrik süreksizlikler, mekanik özelliklerin değişimi ve temelin zemine gömülü olması durumunun bu yöntemde kolaylıkla göz önüne alınabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapı zemin dinamik etkileşimi problemlerinin çözümünde ortak sistem yaklaşımının tercih edilmesinin önünde yer alan engellerden biri olan dalga enerjisinin yutulması probleminin çözümü bağlamında, literatürde viskoz sınırlar olarak geçen Lysmer ve Kuhlemeyer'ın (1969) çalışması öncü olmuştur (Kutaniş, 2001).

1.6.1. Deprem Durumunda Yapı Zemin Etkileşimi

Türkiye de yapılan yapıların birçoğu yüksek katlı yapılardır ve bununla birlikte yüksek katlı yapılan yapıların zemin özellikleri de yumuşak zemin türleridir. Konumundan kaynaklı %92 aktif deprem faylarının bulunduğu bir bölgede bulunan ülkemiz için bir diğer hususta sismik yüklerdir. Fay kırılmasından sonra oluşan enerji, zemine zeminden sonra kazık veya temele ardından ise yapıyı titretmektedir. Bu titremeyi uzun periyotlu yüzey

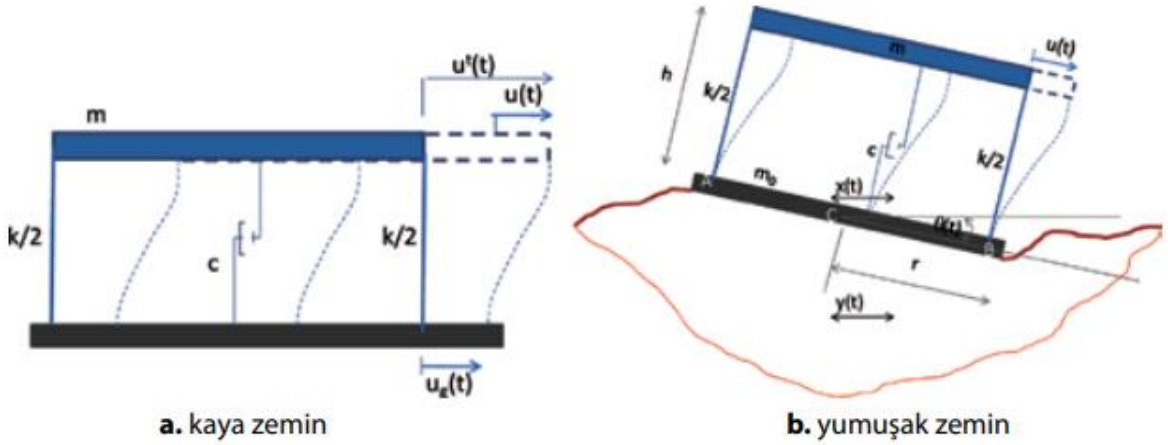
dalgalarının eklenmesi sonrasında gerçek deprem görülmektedir. Bu etkiler deprem boyunca ve ardından yansıma, kırılma ve sönümleme olarak sıralanmaktadır. Temel zeminin türüne göre oluşan şekil değiştirmeler farklılıklar göstermektedir. Deprem genliği, süresi ve tekrarlanması zeminde oluşacak deformasyonu etkiler. Çoğunlukla yumuşak ve oldukça derin, genç formasyonlar 0.2-0.3 g mertebelerinden daha düşük maksimum kaya yüzey ivmelerini büyütmede, bu seviyenin üzerindeki ivmeleri ise artan deplasman pahasına küçültmektedir.

Yapılar üzerinde depremden kaynaklı oluşan etkinin birden fazla parametresi vardır. Bunlar; deprem kaynağından yapıya ulaşana kadar gidilen mesafe, zemin tipinden kaynaklanan zemin-yapı etkileşimi. Yapı açısından bakıldığında deprem kaynağından mesafesi, büyüklüğü ve kırılma sistemi görülebilir. Deprem dalgalarının dağılımı sırasında üst yapıya ulaşana kadar farklı zemin tiplerine göre değişik durumlara geçebilir. Bu etki deprem şiddetini yapı frekansına bağlı olarak çarpı 5, bölü 5 mertebelerinde etkileyebilir. Bu üç etki sonucunda ise yüzeyde serbest saha hareketi oluşur. Zemin-yapı etkileşimi ise temel tabanı ile serbest saha hareketi arasındaki farklılıkları içerir (Şekil 1.10). Kabul edilen bu fark şekil değiştirme ile farklılık gösterdiğinden aynı sistemlerde farklı dinamik ivmelerde de farklılık gösterir. Bundan kaynaklı Deprem-Zemin-Temel-Yapı etkileşimi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1. 10. Yapı temel zemin etkileşimi

Net bir şekilde, dinamik ivmeden dolayı yapının zemine uyguladığı kuvvet ve zeminde yapıya uyguladığı kuvvet arasındaki ilişkiye zemin-yapı etkileşimi denir. Bu durumu daha net kavrayabilmek için sert bir zemin oturtulan yapı ile yumuşak bir zemine oturtulan aynı taşıyıcı sistemlere sahip yapılarla karşılaştırmalıyız. Sert zemin üzerine yapılan yapıda dinamik zamanda kesme kuvveti zemin temeline doğru etkir. Yapı temelinde ise moment oluşur. Temel kısmında oluşan şekil değiştirme, deprem şekilde değiştirmesine eşit olduğunda herhangi bir şekil değiştirme olmaz (Şekil 1.11). Yapı davranışını, yapının karakteristik özellikleri (kütle, rijitlik, sönüm oranı, dayanım ve süneklik v.b) belirlemektedir. Yumuşak zeminde ise temel kısmında oluşan şekil değiştirmeler ile yapıda oluşan şekil değiştirmeler birbirinden farklılık gösterecektir (Şekil 1.11). Zemin görece yumuşak/gevşek ise şekilde görüldüğü gibi temel hareketi değişecektir. Düşey doğrultuda yayılan dalga yayılım özellikleri değişirken (C noktası), temel tabanı üzerindeki ve yanındaki (A ve B noktaları) hareketleri de değişir.



Şekil 1. 11. Yumuşak ve kaya zeminlerdeki hareket

1.6.2. Zemin-Temel-Yapı Etkileşiminde Dinamik Analiz Durumu

Mühendislik çalışmalarına bakıldığında zemin yapı etkileşimi konuşulunca akla direkt gelen sadece zemin ve yapı kısmının olduğu oysa ki bu durumda zeminin temelinde bulunduğu ama kullanılan eş değer yaylar temel etkileşim dışında kalmasına neden olmaktadır. Aslında, bu durum eylemsizlik ile kinematik etkileşimlerinin bir sebebidir. Kütleli olan yapı, temel elemanı ve temel zeminleri zamana bağlı değişken deprem ivmesi altında Newton'ın 2. hareket yasası ile bağımlı olarak farklı kuvvetler etkisi altında kalırlar.

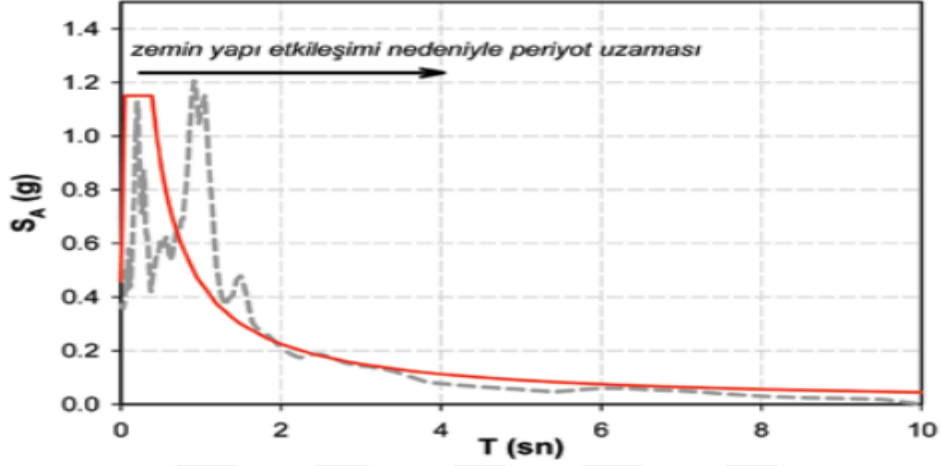
Maruz kalınan bu kuvvet kütle x ivme formülasyonu ile gösterilmek de hem kütle hem de ivme hem yapı, hem temel elemanı hem de zemin katmanları için değişiklik gösterir. Kinematik etkileşim ise yüzeye doğru ilerleyen deprem dalgalarının genellikle oldukça rijit teşkil edilen kazıklı radye veya radye temel elemanına rastladığında temel zeminlerine kıyasla yüksek impedans farkları sebebi ile uğradığı yansıma ve kırılmayı ifade eder. Kinematik etkileşim özellikle yumuşak/ gevşek zeminler içinde teşkil edilen kazıklı temel çözümlerinde genel davranışı belirleyici rol oynamaktadır. Temel seviyesindeki etkin temel hareketi kazıklardan deprem dalgalarının yayılması ile birlikte yataklanma etkileri de içeren zemin-kazık sistemi dinamik davranışını temsil eder.

1.6.3. Yapının Davranışı

Depremden kaynaklı oluşabilecek etki sadece zeminin özelliklerine değil aynı zamanda zeminin üzerinden bulunun yapının kendi özelliklerine de bağlıdır. Araştırmalara genel olarak bakıldığında depremden dolayı oluşan dinamik etkinin yapı ile zemin arasında oluşacak etkileşimden kaynaklı yapıda oluşabilecek deformasyonların azalabileceği düşünülmektedir. Bu kimi zaman doğru bir bakış açısı olsa da kimi zaman yanlış bir bakış açısı olmaktadır. Çünkü yapı zemin etkileşiminde depremden gelen dinamik etkiyi azaltsa bile zemin içindeki rezonans uzun sürecektir bu olayda zemin kısmında deformasyonlara neden olur. İstisnası ise uzun periyotlu derin alüvyonlar üzerinde inşa edilecek yüksek katlı yapılar olup, bu durumda uzayan periyotun rezonansa sebep olması mümkündür. Tasarım spektrumunun yapıyı yapan mühendis için çok önemlidir. Çünkü spektrumdaki küçük bir farklılıktan dolayı, depremden dolayı oluşacak kuvvetlerin yüksek alınması durumunda, kolon ve kirişlere gelecek yükler artacağından bu taşıyıcı sistemlerin taşıyabilmesi için boyutlar artacaktır. Bundan kaynaklı taşıyıcı sistemlerin boyutlarındaki büyüklükten sistem daha rijit bir hale gelecektir. Bu seferde ise yapıya gelen deprem etkisinde yapı zemin etkileşiminde rijitlikten kaynaklı daha fazla deformasyonların oluşabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden tasarımda kullanılacak olan deprem spektrumu çok önemlidir.

Yapılan yapılara bakıldığında, dinamik anda zemin yapı arasındaki etkileşimden kaynaklı yapının dinamik etkisi durumunda avantaj sağlayabilir. Zemin-yapı etkileşiminin bu olumlu etkisini dikkate alınarak rijit temelli yapısal sistemlerde statik çözümlerde ASCE/SEI 7-10 (2010), eşdeğer statik yükün %30'a kadar düşürülmesine müsaade edilmektedir. Yüksek

yapıların yumuşak zeminlere yapılması yapı mühendisleri için olumlu bir durum olarak düşünüldüğü halde geoteknik mühendisleri için durum farklı gözle bakılmaktadır. Bunun sebebi ise yapı altında kazıklara gerek duyulacağı ve bu kazıklı sistemlerin deprem anında oluşacak kesme ve moment kuvvetlerinin taşıyıp taşıyamayacağı dikkat edilmesi gereken önemli hususlardır.



Şekil 1.12. Periyot uzaması

1.7. Yapı Zemin Analiz Yöntemleri

1.7.1 Dinamik Yapı Zemin Etkileşimi

Zemin tepkisinin yapı hareketini, yapı tepkisinin de zemin hareketini etkilediği olay yapı zemin etkileşimi denir. Deprem anında yapı ve zemin birbirinde değişik yönlerde hareket ederler. Bunlardan dolayı zemin ve yapı depreme karşı davranışı farklı tepkiler oluşturur. Depremi oluşturduğu ivme zeminin özelliğine göre farklılaşarak yapıya farklı bir şekilde gönderilir. Elastisite modülü küçük olan zeminlerde yapılan yapılarda dinamik deprem dalgalarının etkisi çok gözlenmektedir (Gökay, Doğan 2004). Zeminin mesnetlenmesi rijit olmadığından dolayı yapıda oluşan titreşimden kaynaklı enerjinin çoğu kaybolur. Ayrıca depremden dolayı kaynaklanan enerjinin bir bölümü de zemin tipine göre zeminde iletilirken enerjisini kaybeder. Depremden dolayı nasıl zemin etkilendiğinde yapı şekil değiştirmeye uğruyorsa, yapı etkilendiğinden dolayı verdiği tepkiden zeminde şekil değiştirmeye uğrar. Zeminlerin dinamik özelliklerinin bulunmasında zeminin rijitliği, sönüm oranı ve kütle parametrelerine bakılarak belirlenir. Çözüm yapılırken kullanılan sistemin ve eşitsizliklerin matematiksel modelinde de aynı olmalıdır. Yapılan çalışmalarda sınırsız bir

ortam olarak kabul edilen zemin basit modellerle kullanılmıştır. Ama zemin-yapı birlikte çalışan bu düzenekte dinamik özelliklerin analitik yöntemlerle bulunması zorluğundan bu özelliklerin incelenmesi sayısal yöntemlerle bulunabilir. Bundan dolayı en çok sonlu elemanlar yöntemi üzerinde çalışılır. Bu yöntem sayesinde en zor sistemleri bile çözümü analitik olarak bulunması zor olduğunda matematiksel formülasyonlar ile oluşacak değişimler hesaplanabilir.

1.8. Depremler

Yerkabuğu iç kısmındaki kırılmalar nedeniyle ansızın var olan titreşimlerin dalgalar şeklinde dağılarak güzergahındaki yerleri ve yüzey kısmının titreşmesi durumuna "DEPREM" denir.

Deprem, insanın eylemsiz var saydığı ve emniyet üstünde duran arazinin de hareket edebileceği ve üstünde var olan bütün yapıların zarara uğradığı, insanların ölümüne neden olabileceği hasar veren o bir doğal afettir.

1.8.1. Depremlerin Oluşumu

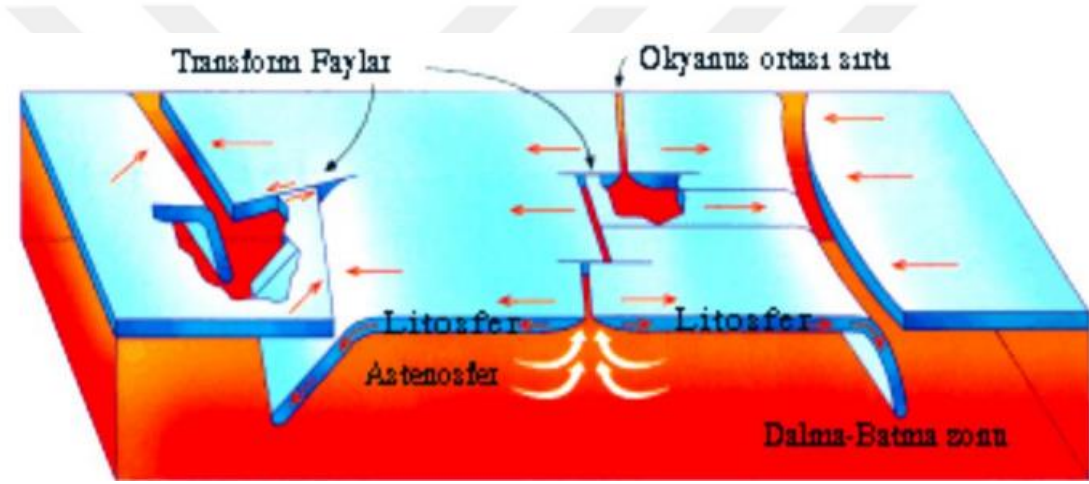
Yerkürenin iç yapısı konusunda, jeolojik ve jeofizik araştırma sonucu bulunan bulgularda verilerinde onayladığı bir yeryüzü modeli vardır. Modelde, yerkürenin dış hattında tahminen 60-90 km kalınlıkta olan litosfer bulunmaktadır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2.900 km olan manto bulunmaktadır. Yer yüzeyinden üst katmandan alt katmana doğru ilerledikçe sıcaklık yükselmektedir. Çekirdek bölümünün sıvı olduğuna dair bilgiyi enine deprem dalgasının çekirdekte hareket etmediğinden bilinmektedir. Manto katı olup üst kısımdan alt kısma ilerledikçe sıvı bölgeleri vardır. Taşküre' nin altında Astenosfer olarak bilinen yumuşak Üst Manto bulunmaktadır.

Mantonun üst kısmında oluşan var olan konveksiyon akımları kaya zeminlerde belli bir noktaya kadar şekil değiştirmeler oluşturmakta ve dayanım kısmına ulaşmış geçtikten sonra kırılmaktadır ve bu kırılmadan sonra deprem oluşmaktadır.

Büyük bir kısmı deprem anı durumunda var olan faylarda, aynı şekilde geri dönmeler (atım), fayın 2 bölümde ve zıt doğrultuda ortaya çıkmaktadır. Faylar çoğunlukla gittiği yöne göre isimlendirilir. En fazla yatay doğrultuda gidişi olan faylara "Doğrultu Atımlı Fay"

adlandırılır. Düşey doğrultuda oluşan faylara "Eğim Atımlı Fay" isimlendirilir. Fayların büyük bir kısmı iki yönde de ilerleme gösterilebilir.

Şekil 1.13 bakıldığında transform faylar, Okyanus üstünden birbirlerinden konveksiyon akımlarıyla bölünen litosferin kopmasıyla var olur, bu şekil kopma durumunda doğrusal hareket yapmayıp en pasif noktalar tercih edilir. Okyanus üstlerinde pasif noktalara atlama olduğunda ikisi de yanal atımlı faylarla bağlanırlar. İki levhanın birbiri yanından geçerek var olan ve levhaların kabuk var etmeyecek şekilde ya da önceki kabuğu sonlandırmayacak durumda ikisinin de yakın olan kısımlarda ortaya çıkan levha sınırına "Transform Fay" adlandırılır.



Şekil 1. 13. Yer kürenin hareketini gösterimi

Deprem oluştuğunda titreşimler halinde ana noktadan ışınal şekilde ayrılır, yerküreden dağılır. Bunlar yüzeye vardığında en kısa ve en uzun farklılaşan bir zaman içerisinde titreşim oluşturur. Belirli bir sahadaki sarsıntının gücü ve süresi depremin boyutu ve yeri ile o sahanın karakteristiklerine bağlıdır. Büyük bir depremin ana noktasın bitişiğindeki bölgelerdeki titreşim daha fazla kayıplara neden olur.

Zemin tipleri çoğunlukla yakın aralıklarda farklı özellikte bulunabildiğinden, dar bir bölgede yer titreşimlerinin değeri farklılık gösterebilir.

1.8.2. Deprem Türleri

Depremler ortaya çıkış sebeplerine göre farklı çeşitlerde görebiliriz. Dünyada görülen depremlerin hemen hemen hepsi farklı tiplerde oluşmaktadır. Levha hareketlerinden

dolayı var olan depremler çoğunlukla "tektonik" depremler denir ve bunlar genellikle levhalar hatlarında görülür.

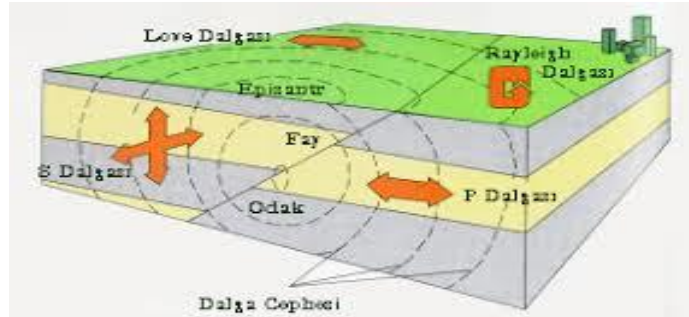
Dünyada oluşan depremlerin %91'i bu kısma aittir. Türkiye'de görülen depremler de genellikle tektonik depremdir. Diğer deprem türü de "volkanik" depremlerdir. İsminden de belli olmak üzere volkanların hareketlerine göre ortaya çıkar. Türkiye'de hala var olan aktif yanardağ yoktur bu yüzden bu çeşit depremler görülmez.

Diğer bir farklı tip depremde "çöküntü" depremleridir. Bunlar yer alt kısmındaki kısımlarında olurlar enerjiler azdır ve hasar oluşturmazlar. Deprem olmadan önce ufak ufak titreşimler hissedilir. Bunlar "öncü depremler" olarak adlandırılmaktadır. Büyük şiddetli deprem olduktan sonra da küçük küçük depremler oluşabilir. Bunlara da "artçı depremler" olarak isimlendirilir ve büyük depremin oluş durumuna göre şiddetinde ve sayısında azalım görülür.

1.8.3. Deprem Parametreleri

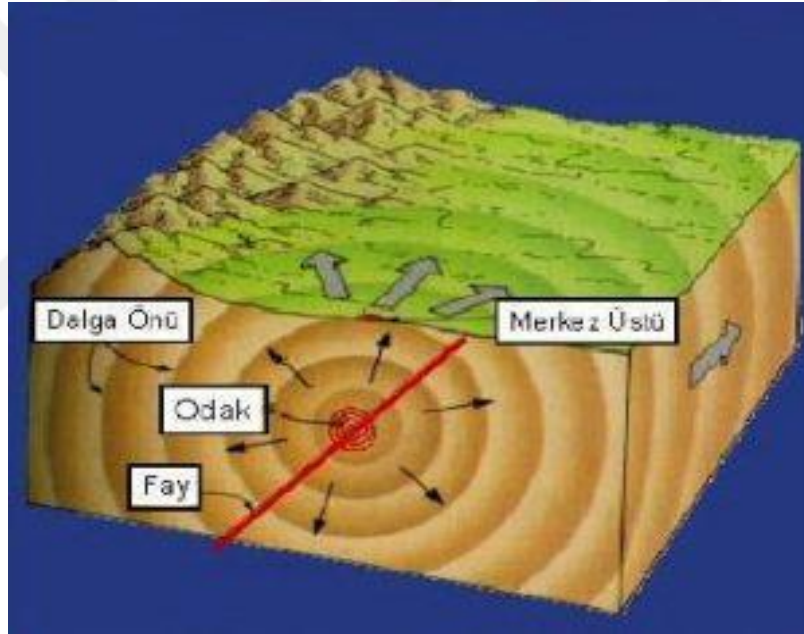
Deprem ortaya çıktığında, hakkında bilgi alıp aktarılabilmesi ve farkına varılabilmesi için deprem parametreleri vardır. "Deprem parametreleri" adında belirlenen tanımlardan bahsedilecektir. Aşağıda kısaca parametrelerin açıklaması yapılacaktır.

Odak Noktası: Yer alt kısmında depremin enerjisinin oluştuğu noktadır. Buraya iç merkez ya da odak noktası adı da söylenebilir (hiposantr). Aslında, enerjinin oluştuğu bir nokta değil bir bölgedir. Ama teoride nokta olarak varsayılmaktadır (Şekil 1.14).



Şekil 1. 14. Sismik deprem dalgalarının yayılışı

Odak Derinliği: Depremde enerjinin olduğu alanın yeryüzünden en yakın mesafesi, depremin odak derinliği olarak adlandırılır. Depremler buna göre ayırt edilir. İsimlendirme de tektonik depremlerde dahil olmaktadır. Yerin 0-50 km altında bulunan depremler sığ depremlerdir. Yerin 60-290 km altında oluşan depremler ise orta derinlik depremleridir. Derin depremlerde yerin 300 km.' den aşağısında olan depremlerdir. Ülkemizde olan depremler genellikle sığ depremlerdir, uzantıları 0-60 km mesafesindedir. Orta ve derin depremler genellikle levhanın farklı levhayı üstüne aldığı alanlarda oluşur. Derin depremler çok geniş bölgelerde görülür, buna kıyasla oluşturdukları zarar düşüktür. Sığ depremlerde durum farklıdır çünkü küçük bölgede hissedilirken bu bölge içinde çok zarar verebilirler (Şekil 1.15).



Şekil 1. 15. Deprem dalgalarının hareketi

Dış Merkez: Odak noktasına en az mesafede olan yer üzerindeki noktadır (episantr). Bu kısım depremin en fazla hasara neden olduğu veya en fazla hissedildiği noktadır. Aslında bu, bir noktadan daha fazla bir alandır. Depremin dış merkez bölgesi depremin şiddetine bağlı olarak değişik büyüklüklerde olabilir. Bazen büyük bir depremin odak noktasının boyutları yüzlerce kilometreyle de belirebilir. Bu nedenle "Episantr Bölgesi" ya da "Episantr Alanı" olarak söylenmesi gerçekçi olacaktır.

Eş Şiddet (İzoseit) Eğrileri: Aynı şiddetle hareket eden noktaları birbirine bağlayan noktalara denir. Bu noktaların belirlenmesiyle ve haritaya dönüştürülmesiyle eş şiddet haritası oluşturulur. Çoğunlukla var sayılmış duruma göre, eğrilerin oluşturduğu yani iki eğri arasında kalan bölge, depremlerden etkilenme yönüyle, şiddet bakımından kısıtlandırılmış olur. Bu sebeplerle depremin şiddeti eş şiddet eğrileri üstüne değil, alan içine yazılır.

Şiddet: Yer yüzünün altındaki herhangi bir noktada oluşan depremin yer yüzeyinde farkına varıldığı noktadaki ölçüsüdür. Diğer bir deyişle depremin şiddeti, yeryüzü üzerindeki canlı veya cansız varlıklar üzerinde oluşturduğu davranışların ölçütüdür. Şiddet depremin var olduğu alandaki büyüklüğü ile ilgili kesin değer vermeyip, depremden dolayı oluşan etkinin yukarıda belirtilen etkenlere bağlı olarak yansıtır.

Büyüklik: Deprem anında oluşan enerjinin bir ölçüsü adlandırılmaktadır. Enerjinin direkt ölçülmesi durumu olmadığından, Richter tarafından 1930 senelerinde olan bir sistemle depremlerin aletsel bir ölçüsü olan "Magnitüd" tanımlanmıştır. (Tablo 1.2).

Tablo 1. 2. Şiddet ve büyüklük değerleri

Şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Büyüklik (Richter)	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

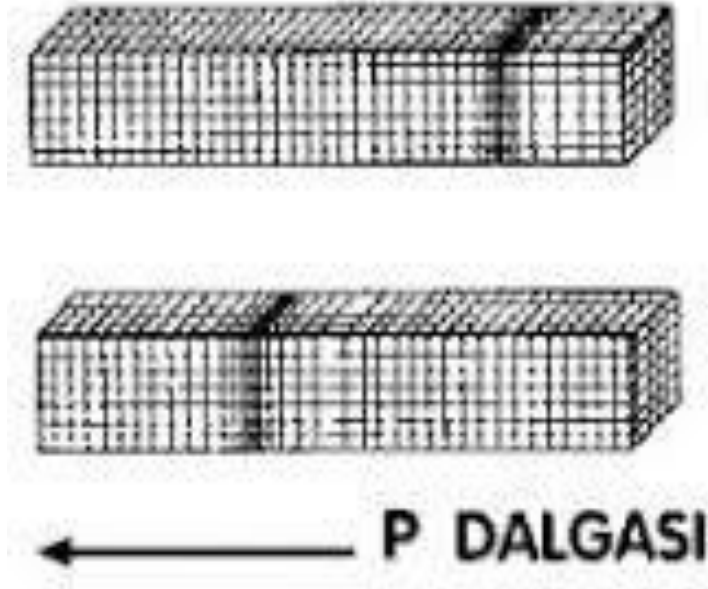
1.8.4. Deprem Yayılma Dalgaları

Büyük depremlerin varoluşu anında yeryüzünün her yerinde ölçülebilecek titreşim var etmeye yetecek seviyede enerji oluşur. Değişik çeşitlerdeki deprem dalgaları yerkürenin iç bölgesinde ilerlerken değişik özellikteki katman sınırlarında parçalanır ya da yansımalarla maruz kalır ve yüzeye değişik yollarla varırlar. Bu kırılma ve yansımalarla alakalı çalışmalarda yerin yapısının katmanlı olduğunun farkına varılmıştır ve her katmanın kendine ait özelliklerinin bulunduğu ifade etmiştir. Bir deprem olduğunda cisim dalgaları, hacim dalgaları ve yüzey dalgaları olarak adlandırılan değişik tür sismik dalgalar ortaya çıkar. Hacim dalgaları yerküre içinde enerjinin başladığı noktadan başlayarak serbest şekilde her

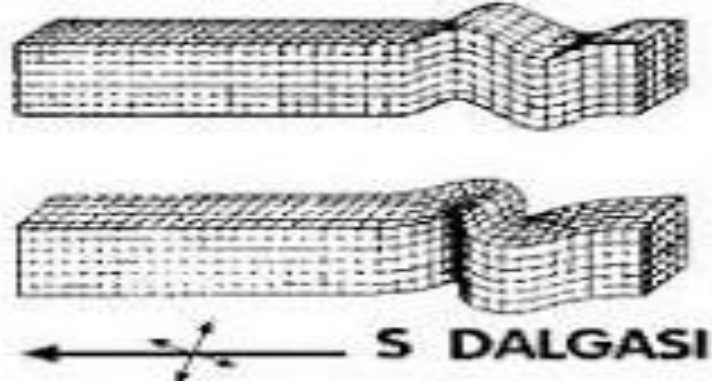
doğrultu yayılır. Cisim dalgaları yeryüzünde yayılırlar. Cisim dalgalarının yeryüzünde yayılırken, yerkabuğunun farklı katmanlarından yaptıkları yansımalarından da yüzey dalgaları oluşur (Love ve Rayleigh dalgaları). Yer kabuğunun iç kısmında hareket eden cisim dalgaları P ve S olmak üzere 2' ye ayrılmıştır.

P dalgaları; dağılma hızları en yüksek olan ve bu sebeple kayıt merkezlerine ilk ulaşan dalgalardır. Dağılma hızları 5.5-7 km/sn arasında olup geçtikleri zeminde hacim ve şekil değişimine neden olan, yapılar üstünde yıkıcı etkisi olmayan dalgadır.

İkincil, enine veya kesme dalgası olarak tanıdığımız S dalgaları iç kısımdan geçtikleri bölgede kayma deformasyonlarına sebep olurlar. S dalgaları; P dalgalarına farkla yayılma hızı daha küçük olan ve bu sebeple kayıt noktasına sonradan gelen deprem dalgalarıdır. Yapılar üstünde yıkıcı etkisi olan S dalgaları; sıvı ortamda dağılmazlar, yalnız katı ortamlarda dağılırlar. Yüzey dalgaları; P ve S dalgalarına farkla hızları daha küçük, periyotları daha yüksek olan ve benzer S dalgaları gibi yıkıcı özelliği olan dalgalardır. Bu dalgalar, genlikleri kabaca derinliğe göre üssel olarak azalarak yer yüzeyinde ilerlerler. Hareket yönleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1.16 ve Şekil 1.17).

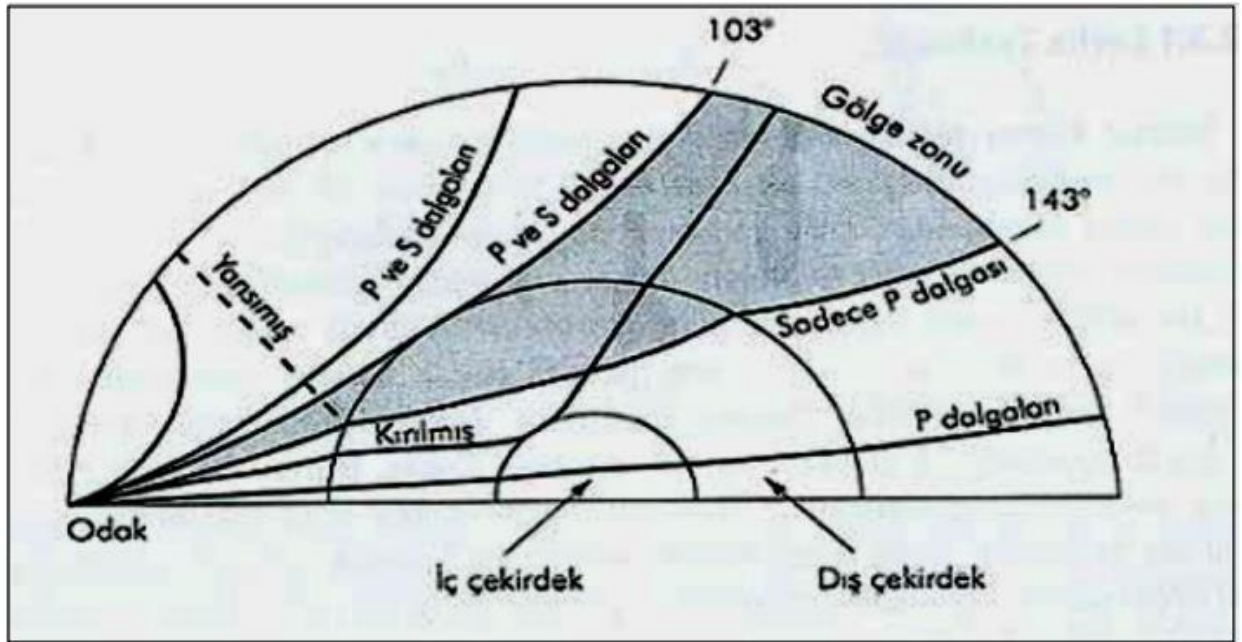


Şekil 1. 16. P dalgası

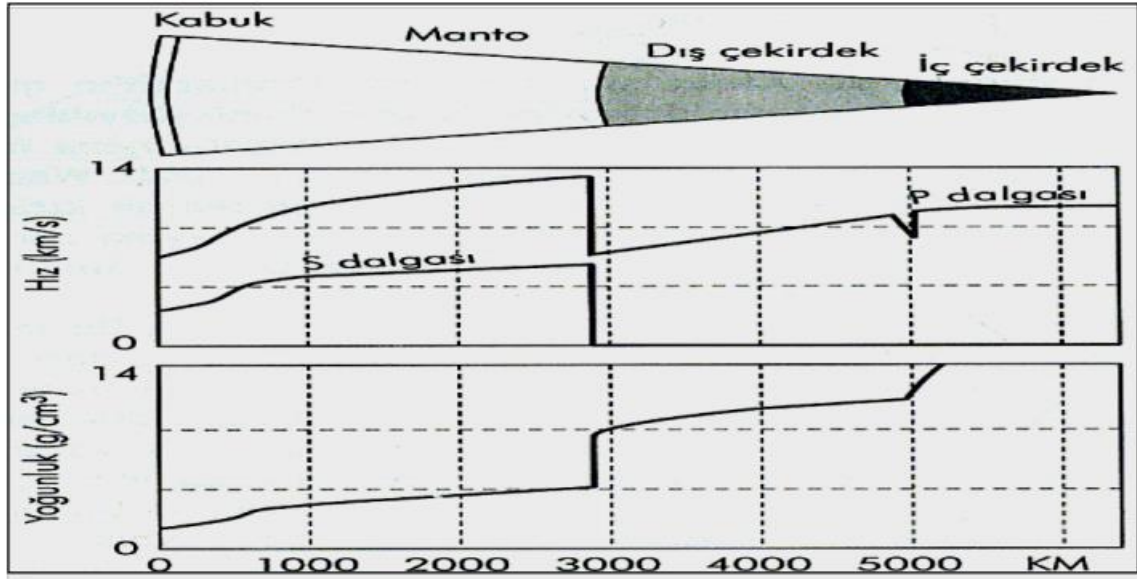


Şekil 1. 17. S dalgası

Şekil 1.18 ve 1.19'da yer kürenin yapısının deprem anında var olan dalgaların yayılımındaki değişimi farkına varılmaktadır. Dalgaların hareket hızları çoğunlukla derinliğinden dolayı hızlandığında, dalga izleri (wave paths) yer yüzeyi doğrultusunda parçalanmaktadır. 103 derece ile 143 derece arasındaki gölge zonun da sadece iç çekirdekte yansıyan deformasyonlar yerin yüzeyine erişebilmektedir (Summer 1969).



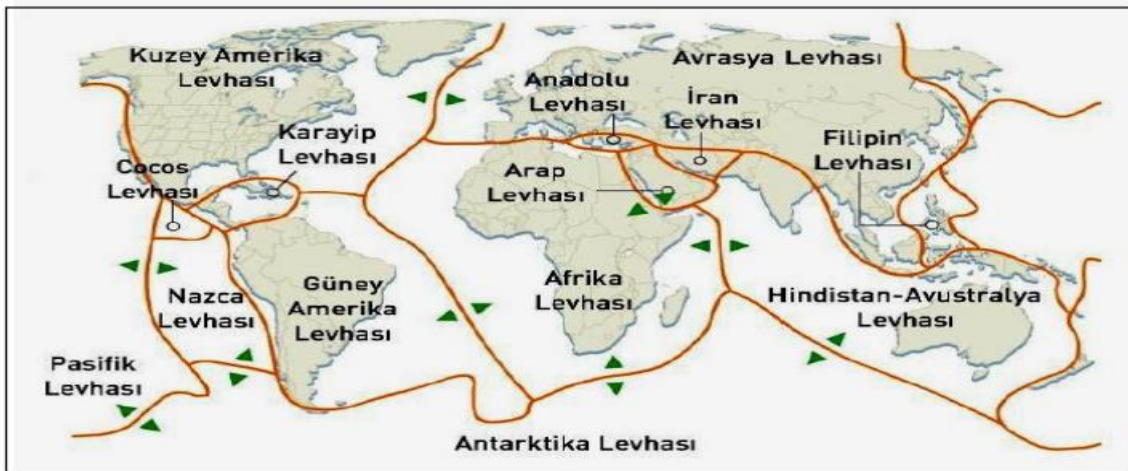
Şekil 1. 18. Depremin ana noktasından dağılan dalgaların farklı katmanlardaki durumu



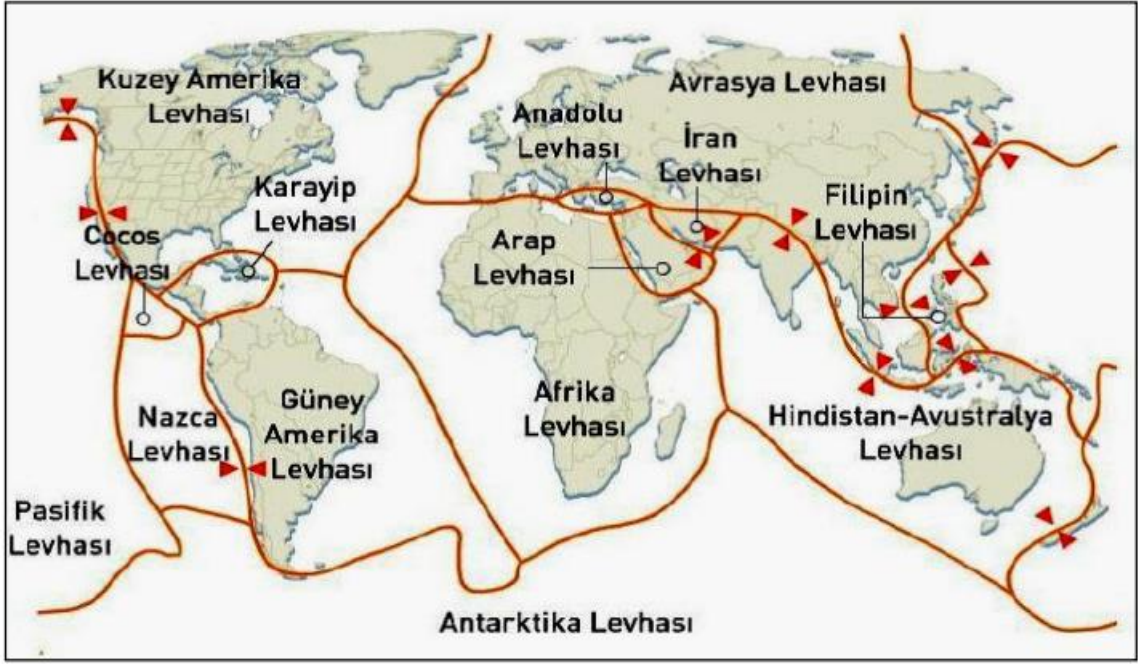
Şekil 1. 19. Yerküresindeki s ve p dalgaları

1.9. Yeryüzündeki Faylar ve Tektonik Bölgeler

Dünyamızda depremler şiddetlerine göre 3'e ayrılır. Az şiddetli, orta şiddetli ve çok şiddetli olmak üzere dünyanın belirli bölgelerinde görülmektedir. Depremler fay hatlarının hareketleri sonucu birbirlerine yaklaşarak sismik dalgaların oluşmasıyla oluşurlar. Yerin altındaki plakların sınırlarını belirlemek imkansızdır. Bu konu üzerinde çalışan bilim insanları yeryüzünde ayrılan levhalar ve çarpışan levhalar adıyla gruplandırarak 2 harita oluşturmuştur (Onur 2007) (Şekil 1.20 ve 1.21).



Şekil 1. 20. Ayrılan levhalar



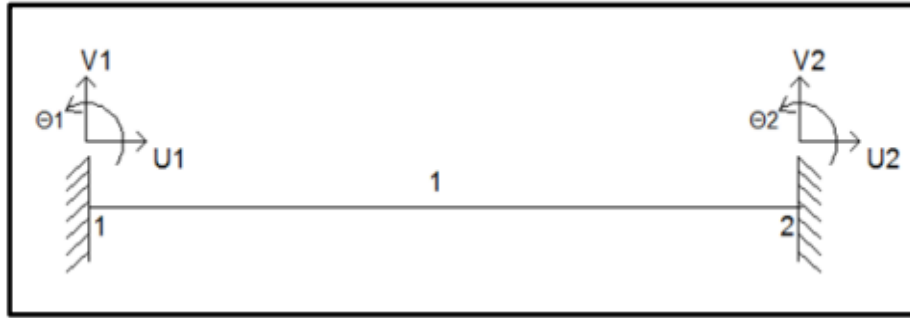
Şekil 1. 21. Çarpışan levhalar

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Plaxis Yazılımı

2.1.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bir yapı elemanının, çubuk sistem gibi bir veya iki elemandan oluşan bir sistem olması halinde ise sistemi üç adet denge denklemi ile kolayca çözülebilir. Ancak sistemde fazla bağıllık (hiperstatiklik) söz konusu ise denge denklemleri sistemin çözümünde yeterli olmayacaktır. Bilinen üç denge şartı yanında şekil değiştirmeyi de içeren ek denklemleri çözüme katılmalıdır. Örneğin iki tarafı sabit mesnetli tek açıklıklı kirişte bilindiği gibi dört tanesi yatay ve düşey, iki tanesi de dönmeye bağlı altı bilinmeyen bulunmaktadır. Denge denklemi burada üç tane olduğundan altı bilinmeyen burada çözülmesi imkansız hale gelir. O halde geri kalan (6-3=3) üç adet bilinmeyen için şekil değiştirme ifadeleri kullanılır. Bu kirişin düğüm noktalarında tanımlanacak şekil değiştirme denklemleri sistemin bütününde kullanılır. Örneğini Şekil 2.1.'de gördüğümüz ankastre kirişte genel denge denklemi,



Şekil 2. 1. Ankastre çubuk sistemde bilinmeyenler

$$[K].[u] = [F] \quad (1)$$

ile ifade edilebilir. Burada K sistemin rijitliği, u yer değiştirmeler ve F ise kuvvetleri belirtir. Bu genel denklem Eşitlik 2'de matris formunda yazılırsa,

$$\begin{matrix}
 u_1 & v_1 & \theta_1 & u_2 & v_2 & \theta_2 \\
 \left[\begin{array}{cccccc}
 k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\
 k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\
 k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\
 k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\
 k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\
 k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16}
 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ M_1 \\ F_3 \\ F_4 \\ M_2 \end{bmatrix} \quad (2)
 \end{matrix}$$

k_{11} terimi EA/L , yani uzama rijitliğini,

k_{13} terimi ise dönme rijitliği olan $12EI/L^3$ olarak tanımlanmaktadır.

Bu matris eşitliği şeklindeki denklem bilinen matris işlemleriyle (Gauss vs.) çözülebilir ve bilinmeyenleri bulanabilir. Bu tür elemanların çözümünde çubukları ikiye, üçe veya ihtiyaç olan sayıda bölünmeye imkan vardır. İşte bu gibi elemanları bölerek sonlu sayıda parçalara ayırma ve her çubuğun denklemini ayrı ayrı yazarak, sonrasında da kendi aralarında ortak noktalarından birleştirme ve global matrisi elde etme işlemine Sonlu Elemanlar Yöntemi denir. Yöntem bir çubuk sisteminde kullanılabildiği gibi iki boyutlu (2D) düzlem ve üç boyutlu (3D) hacim elemanlarında da çözümde olanak sağlar.

2.1.2. Plaxis Yazılımı

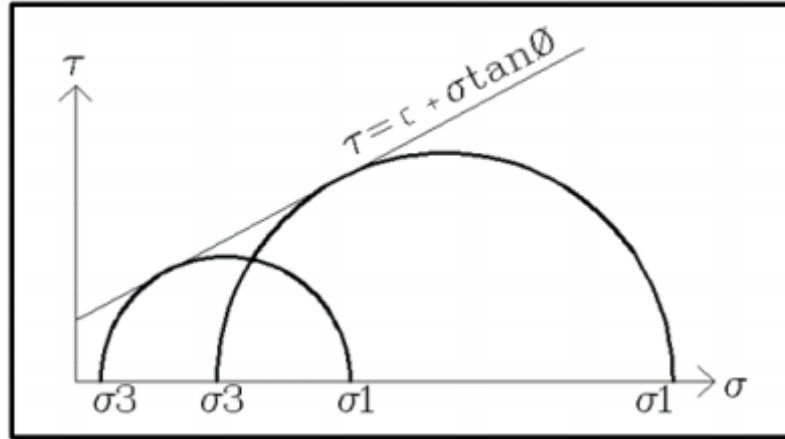
Plaxis yazılımı geoteknik problemlerinin analizi için geliştirilmiş bir sonlu eleman yazılımıdır. Problemler iki veya üç boyutlu olarak bir önceki başlıkta anlatıldığı gibi modellenir. Özellikle son 20-30 yılda zemin mekaniği ve geoteknik problemlerin çözümünde buna benzer programlar geliştirilmiştir. (Lusas, Geosoft vb.) Bu yazılımlardan bazıları sadece şev, kazı-dolgu problemlerinde öne çıkarken bazıları ise yüzeysel ve derin temellerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Plaxis programı ise statik-dinamik problemler başlığı altında şevler, aşamalı kazı ve dolgular, yüzeysel ve derin temeller, yapı-zemin etkileşimi problemleri ve tüneller gibi pek çok konuda çözüm getirebilmektedir. Programda zemin katmanlar halinde tanımlanabilmekte, her zemin katmanında Elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), kayma direnci açısı (ϕ), kohezyon gibi birçok parametre ile giriş yapılmaktadır. Dolayısıyla sondaj loglarından gelen veriler programın data editörlerinde girilebilmektedir. Sonlu eleman yazılımlarında hesap hassaslığının en önemli ölçüsü sonlu eleman ögelerinin büyüklüğü, yani eleman boyutlarıdır. Ele alınan problem hassaslık

derecesine göre veya aynı zemin ortamı içerisinde daha duyarlı sonuçlar alınması istenen yerlerde eleman boyutu ayarlanır.

2.1.3. Plaxiste Zemin Davranış Modelleri

Zemin problemlerinin çözümü gerilme odaklı olarak ele alınır. Yani bir zemin küp elemanı yatay ve düşey yöndeki gerilme zorları altındadır. Bunlar normal gerilmelerdir. Zemin prizmatik parçasının dışından etkileyen kayma gerilmeleri de bulunabilir. Gerek normal, gerekse kayma gerilmeleri etkisindeki bir zemin elemanının içinde normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri oluşur. Dolayısıyla dış ve iç kuvvetler denge halindedir. Buna elastik denge koşulu denir. 1800'lü yıllarda Otto Mohr adlı Alman matematikçi bu gerilme halini incelemiş ve teorik olarak öne sürmüştür. Kendi adıyla anılan Mohr metodu günümüzde hala geçerliliğini korumaktadır.

Plaxis programı düzlem zorlanma problemlerinde Mohr-Coulomb zemin modelini kullanmaktadır. Bu modelde zemin normal gerilmelere karşılık kayma gerilmeleri olarak denge durumunun tarifi yapılmaktadır. Üç eksenli hücre kesme deneyinde, yatay gerilme (σ_3) sabit tutulup, düşey gerilme (σ_1) artırılarak zemin örneği denir. Bu deney farklı deviatör gerilmeler ($\sigma_1 - \sigma_3$) altında tekrarlanırsa farklı gerilme daireleri elde edilir. Bütün dairelerin ortak teğeti akma doğrusu olup kırılma zarfı olarak tanımlanır (Şekil 2.2)



Şekil 2. 2. Zeminde Mohr-Coulomb akma tarifi.

2.1.4. Plaxis'de Modelleme

Bir yapıyı plaxis 3d ile modellerken 4 farklı bölüm vardır. Bu bölümler soil, structure, mesh ve staged construction bölümleridir. Bu bölümlerin sırasıyla anlamları zemin girdisinin yapıldığı bölüm, yapının statik kısmının girildiği bölüm, yapının deformasyonlarının yapıldığı aynı zamanda yapının geometrik olarak kontrol edilen bölüm ve son olarak deformasyon, gerilme, normal kuvvetler, kesme kuvveti, moment vb. hesaplarının yapıldığı bölümdür. Modellemesi yapılan yapıda 35 m x 25 m taban alanı belirlenmiştir. Yapının taşıyıcı sistemde toplam 36 adet kolon, 30 adet kiriş ve 25 adet döşeme bulunmakta ve her kat yüksekliği 3 m olmak üzere 6 katlı yapıdır. Bu üst yapı okul tipi yapı olarak kullanılacaktır. Bu yapı için temel tipi olarak 0.75 m kalınlığında radye temel kullanıldı ve 10.5 m uzunluğunda 0.80 m çapında her kolonun altına gelecek şekilde kazıklarla desteklenmiştir. Bu kazıklar kum zemininin kalınlığına göre 2 tip de ayrıldı. Birinci tip kazıkların uç kısmının kum zemine bağlandığı (11 m kum 9 m kaya) yani diğer bir deyişle yüzen kazıklar oluşturuldu. İkinci tip de ise kazıkların uç kısımlarının sağlam ana kayaya (kum taşı) kadar ulaştığı (8 m kum 12 m kaya) uç kazıklar oluşturuldu. Kolonlar, kirişler, döşemeler, temel ve kazıklar oluşturulduktan sonra kolon, kiriş, döşeme kısımlarının sabit yükleri hesaplanarak sisteme veri olarak girildi. Kum ve kayaya ait zemin özellikleri sisteme girildi. Kazık, kolon, kiriş, döşeme ve temele ait malzeme özellikleri sisteme eklendi. Taşıyıcı sistemin yükleri, malzeme ve zemine ait özellikler girildikten sonra dinamik yük (deprem) etkileri sisteme x-x doğrultusunda paralel olarak eklendi. Eklenen deprem sismik hareketi 8 sn'lik bir dinamik etkidir. Hesaplama kısmına gelindiğinde faz 1, faz 2 sistemleri oluşturuldu. Faz 1 sisteminde temel betonuna ait malzeme bilgileri girildi ve sisteme ait kolon, kiriş, döşeme yükleri etkilenecek statik durumda hesaplamalar yapıldı. Faz 2'de ise statik sisteme ait yüklere ilave olarak etkilediğimiz 8sn'lik dinamik yük etkisinde bırakıldı.

Modelimizde 20 m derinlik ele alınarak zeminin zemin türü özellikleri ait bilgiler (elastisite modülü, poisson oranı, birim hacim ağırlıkları vb.) aşağıdaki tablo 2.1 ve tablo 2.2'de verilmiştir. Bu bilgilerin plaxis 3d kısımdan soil bölümünde materyal olarak eklendi.

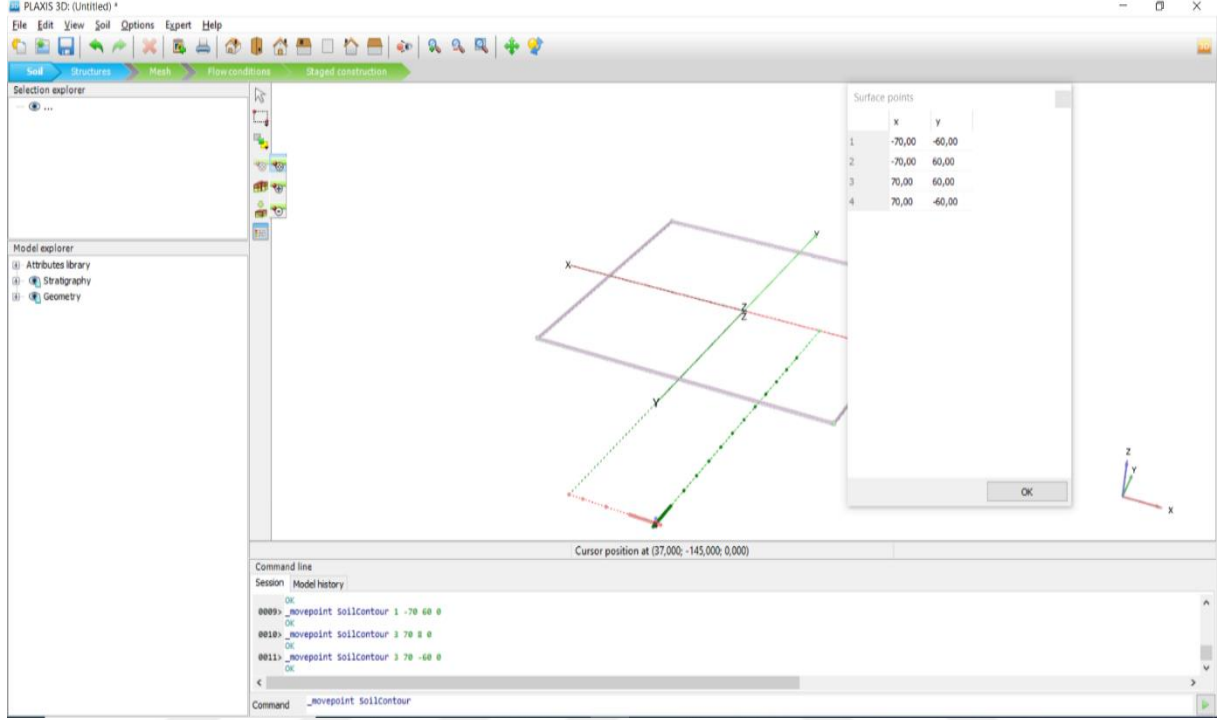
Tablo 2. 1. Yumuşak kaya zemin bilgileri

Elastisite Modülü (E')	100000 kN/m ²
Poission Oranı (ν')	0,25
γ_{unsat}	21 kN/m ³
γ	21 kN/m ³
G	40000 kN/m ²
E_{oed}	120000 kN/m ²
C_{ref}'	100.00 kN/m ²
Φ'	35.00
ψ	0.00

Tablo 2. 2. Kum zemin bilgileri

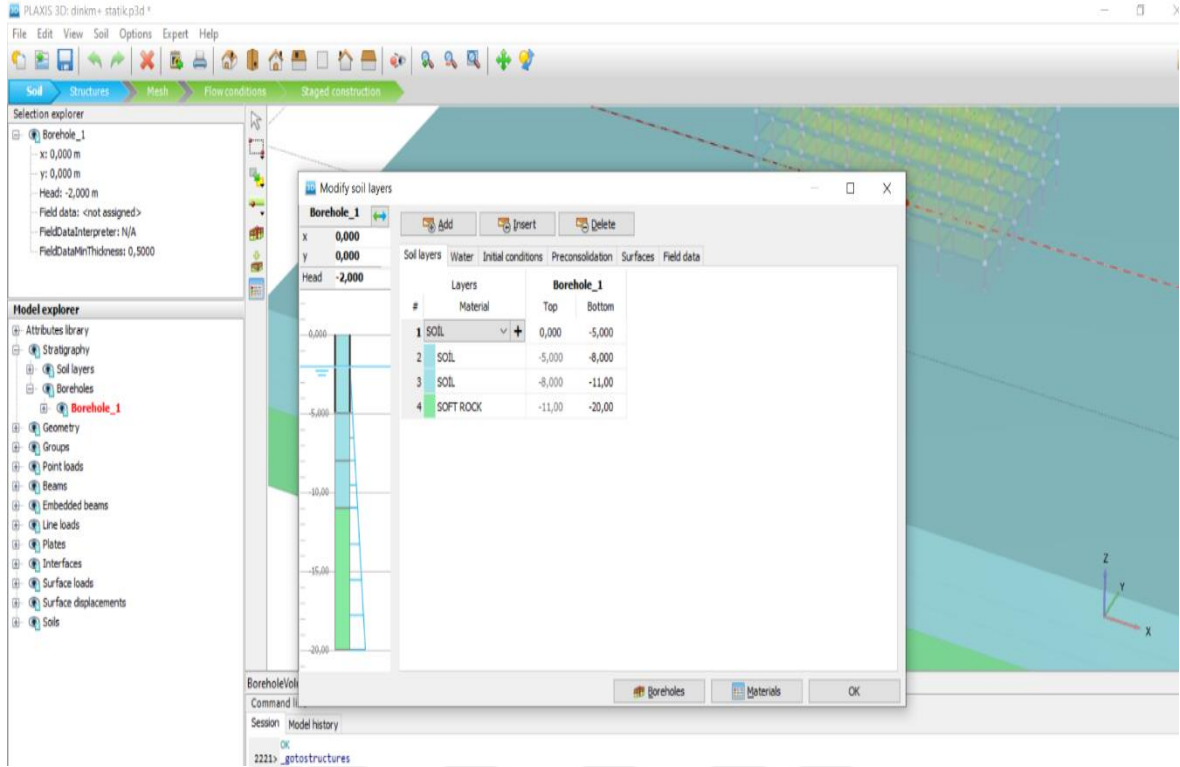
Elastisite Modülü (E')	15000 kN/m ²
Poission Oranı (ν')	0.30
γ_{unsat}	18 kN/m ³
γ	19 kN/m ³
G	5769 kN/m ²
E_{oed}	20190 kN/m ²
C_{ref}'	1.00 kN/m ²
Φ'	30.00
ψ	0.00

Üst yapının boyutları 35 x 25 m'dir. Bundan dolayı oluşturulacak olan yapının taban alanı zemin taban alanından 3-4 kat küçük olmalıdır. Zeminin yer yüzeyi (-70,-60), (70,-60), (70,60) ve (-70,60) noktaları dış merkez alınarak zeminin yer yüzeyi oluşturuldu (Şekil2.3).



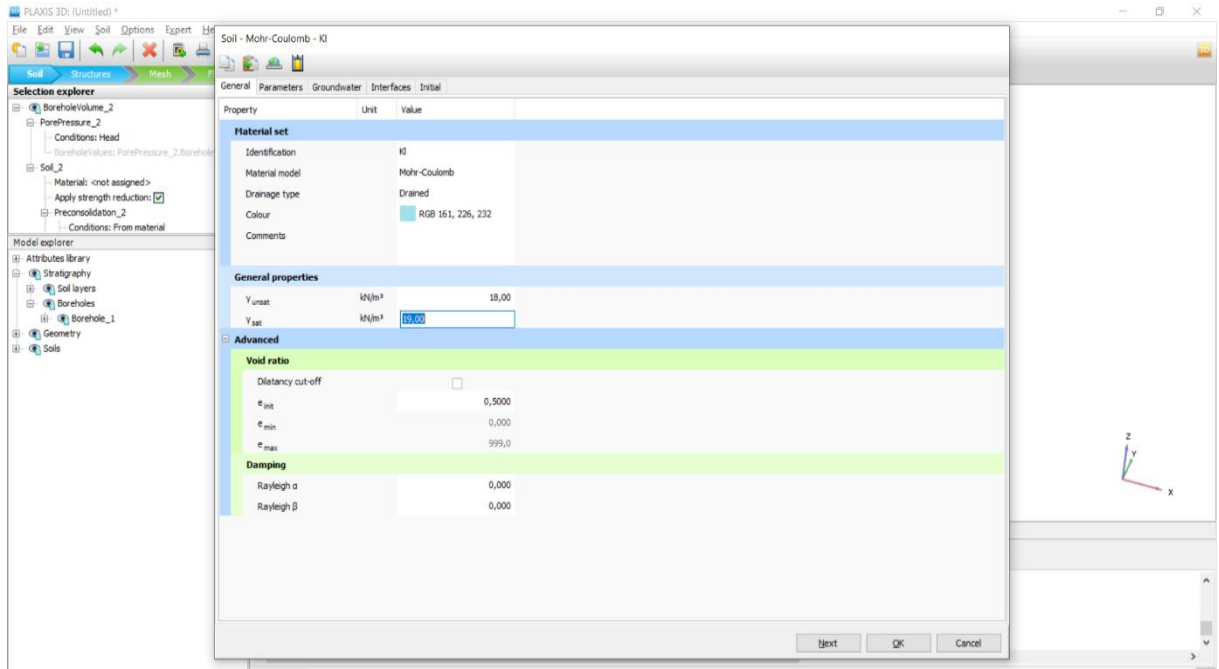
Şekil 2. 3. Zeminin taban yüzey alanı

Modelimizde kaya tabakasının toplam kalınlığı 20 m olarak alındı. Bu zemin türünü iki farklı durumda inceleyeceğimiz için ilk olarak 8 m, 11 m ve 20 m arayla 2 farklı zemin türünü ele alındı. İlk durumda zemin türü olarak 11 m kum ve 9 m kaya yapıldı. Yeraltı su seviyesi (yss) zemin üst tabakasının 2 m aşağısından başlamaktadır. Bu zemin türü özellikleri plaxis 3d'de soil yani zemin kısmında veri olarak girildi (Şekil 2.4).

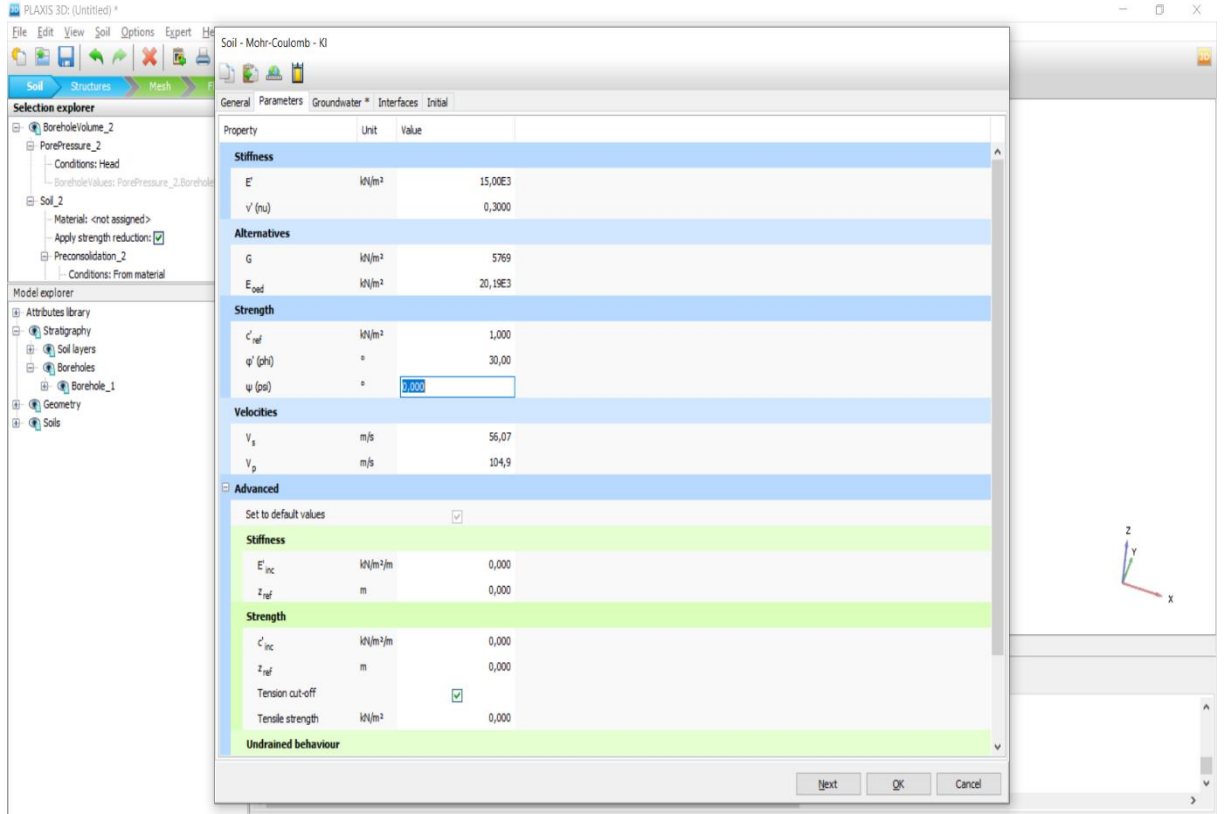


Şekil 2. 4. Zemin katmanları ve su seviyesi

Kum zeminine ait zemin türü özellikleri plaxis 3d ye girildi ve zemin katmanına ataması yapıldı (Şekil2.5 ve 2.6).

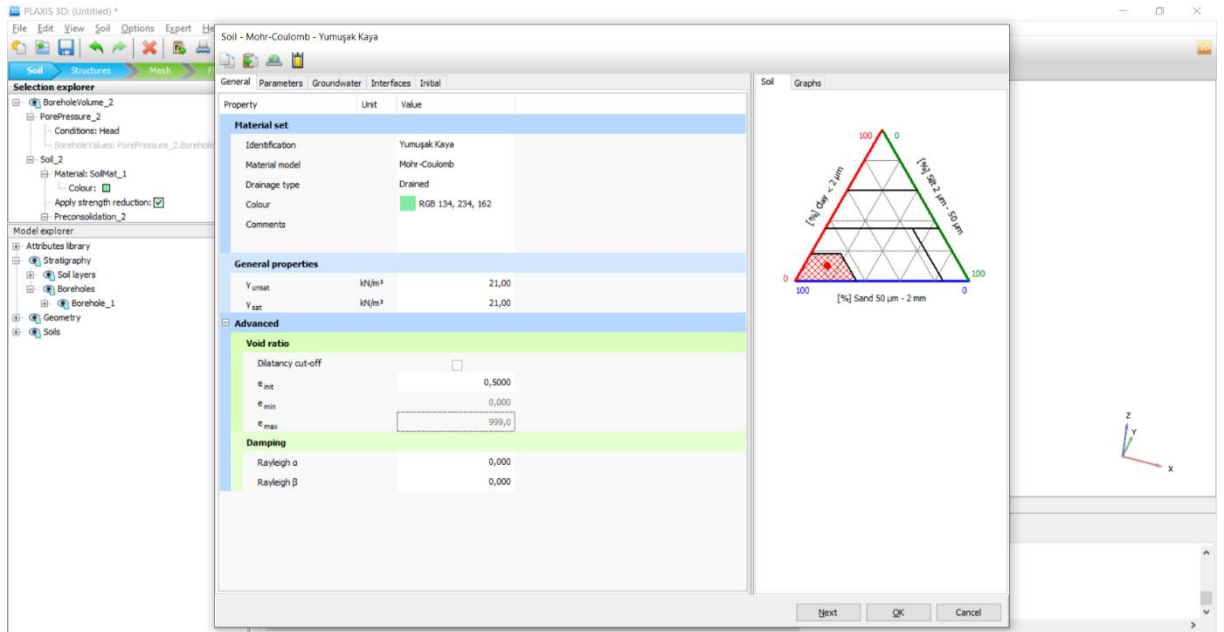


Şekil 2. 5. Kum zemini değerleri

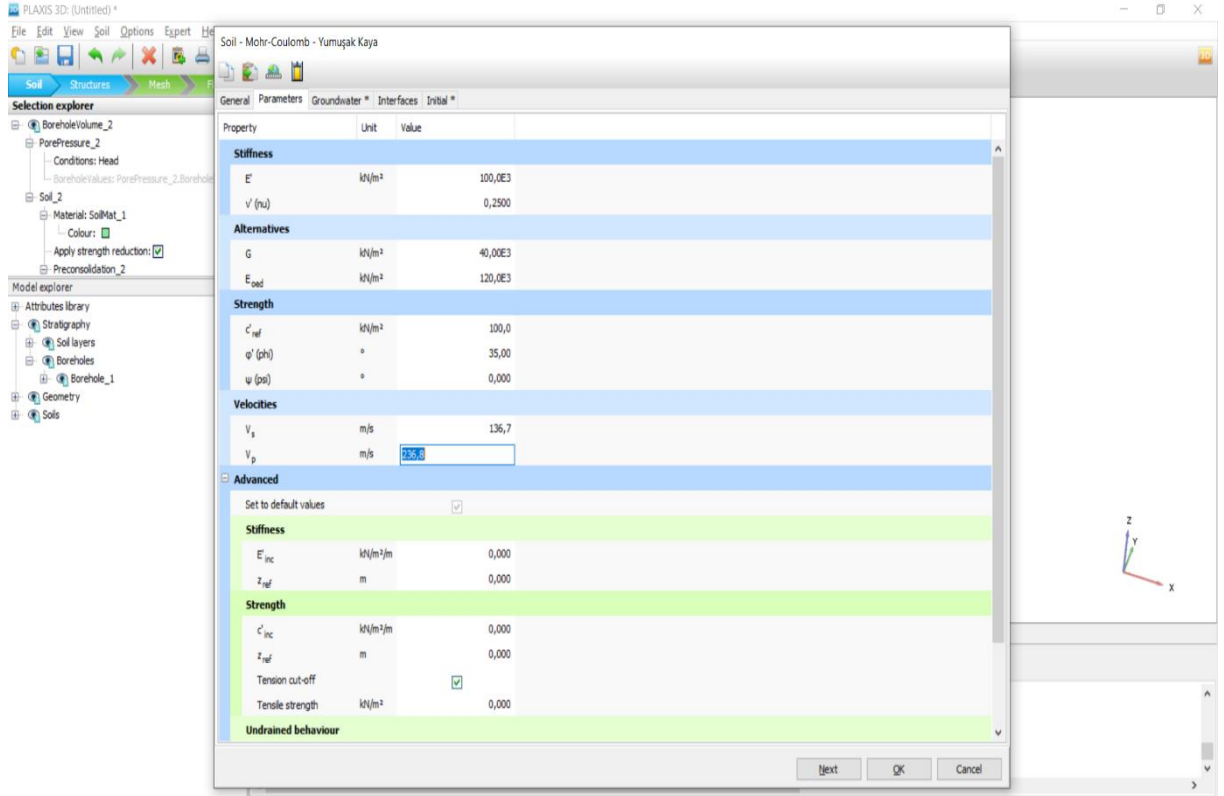


Şekil 2. 6. Kum zemini değerleri

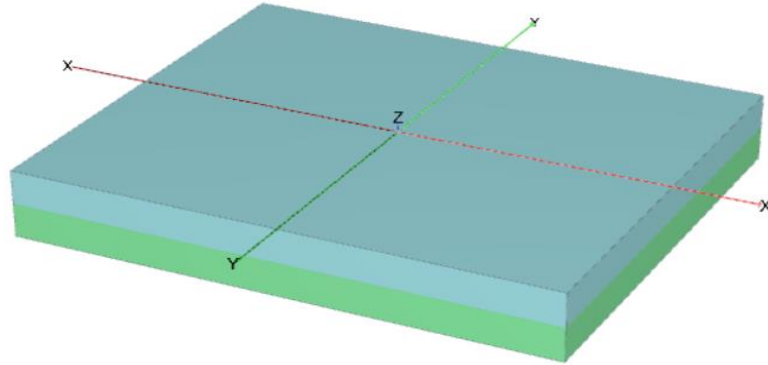
Yumuşak kaya zeminine ait geoteknik veriler plaxis 3d ye aktarıldı. Zemin özelliklerine göre zeminin son görüntüsü aşağıdaki gibidir. Mavi renkteki kum, yeşil renkteki ise kayadır (Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9).



Şekil 2. 7. Kaya toprağı değerleri



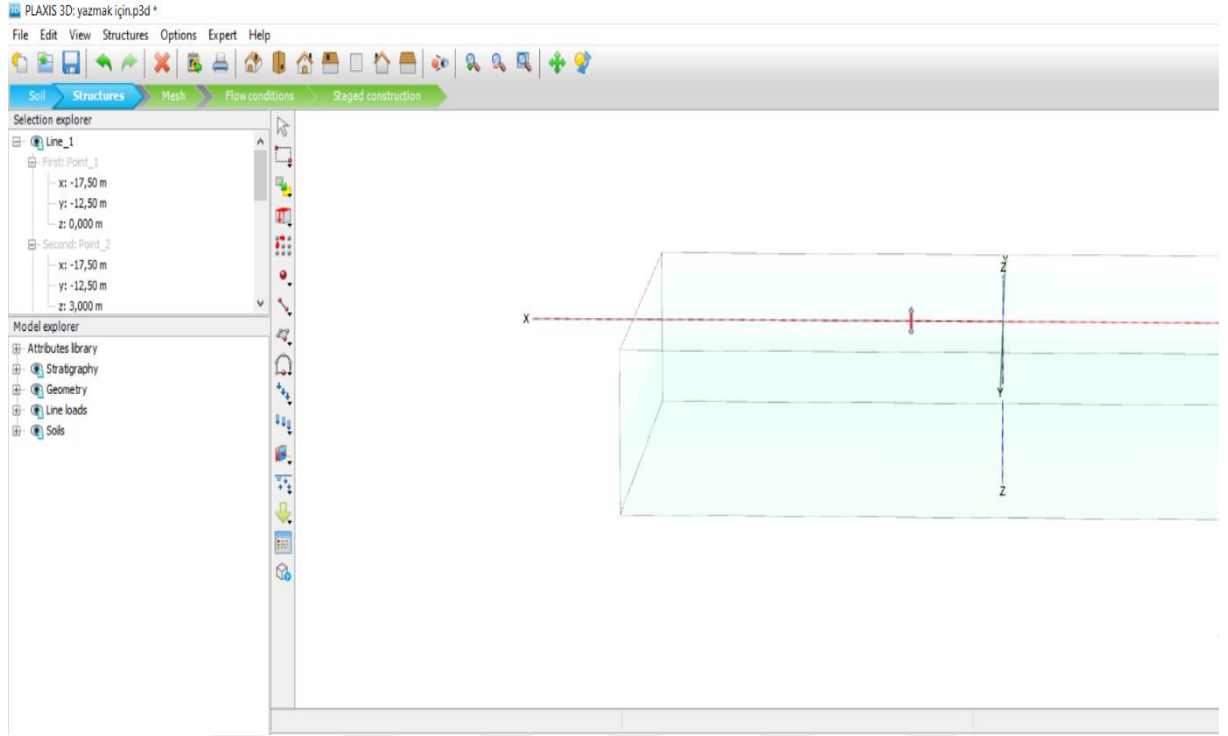
Şekil 2. 8. Kaya toprağı değerleri



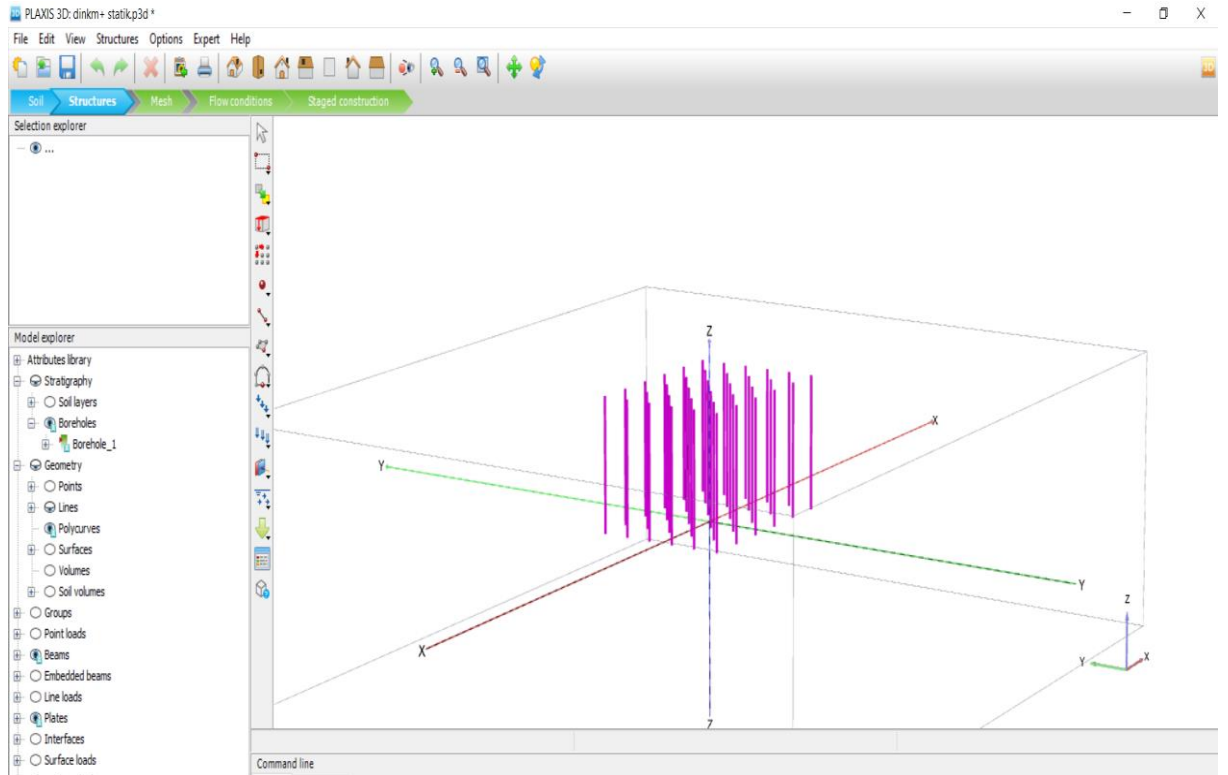
Şekil 2. 9. Üst yapı zemin görünümü

Üst yapının zemine ait verileri girdikten sonra structure bölümüne geçilerek yapıya ait kolonları, kirişleri ve döşemeleri oluşturuldu. Kolonların boyutları 0,3 m x 0,3 m'dir. Kolonlar x-x yönünde 7.5 m arayla, y-y yönünde ise 5 m arayla girilmiştir. Toplamda bir

katta 36 adet kolon vardır. Üst yapı 6 katlıdır ve her kattaki kolonlar tek tek noktasal olarak girilmiştir (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11).

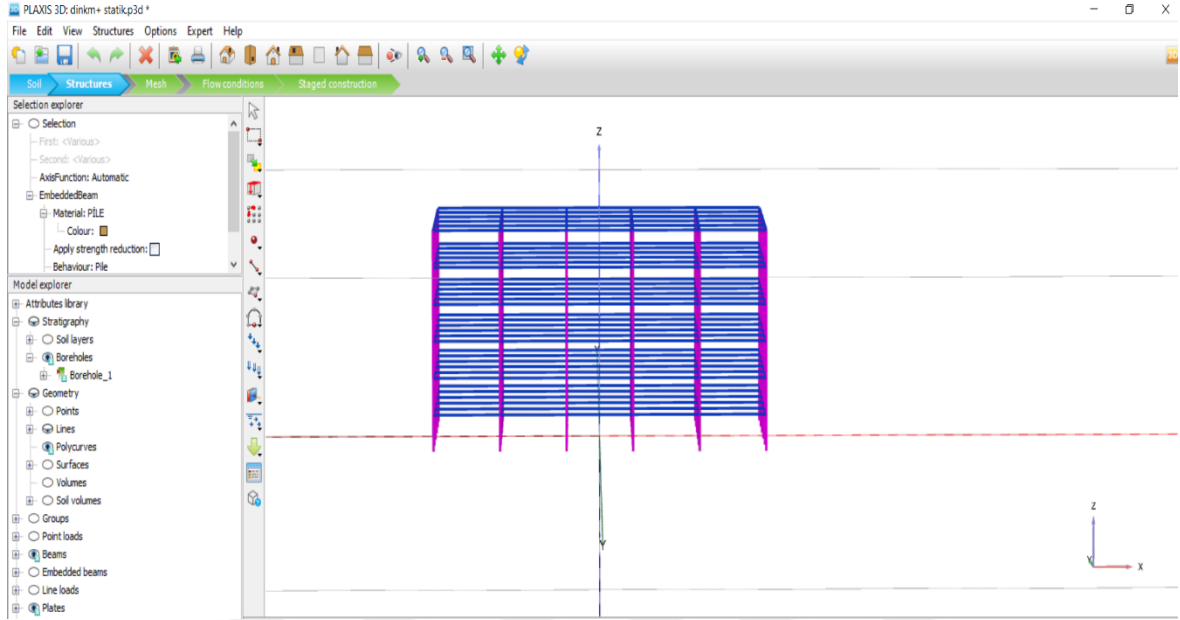


Şekil 2. 10. Üst yapı kolon zemin kat görünümü

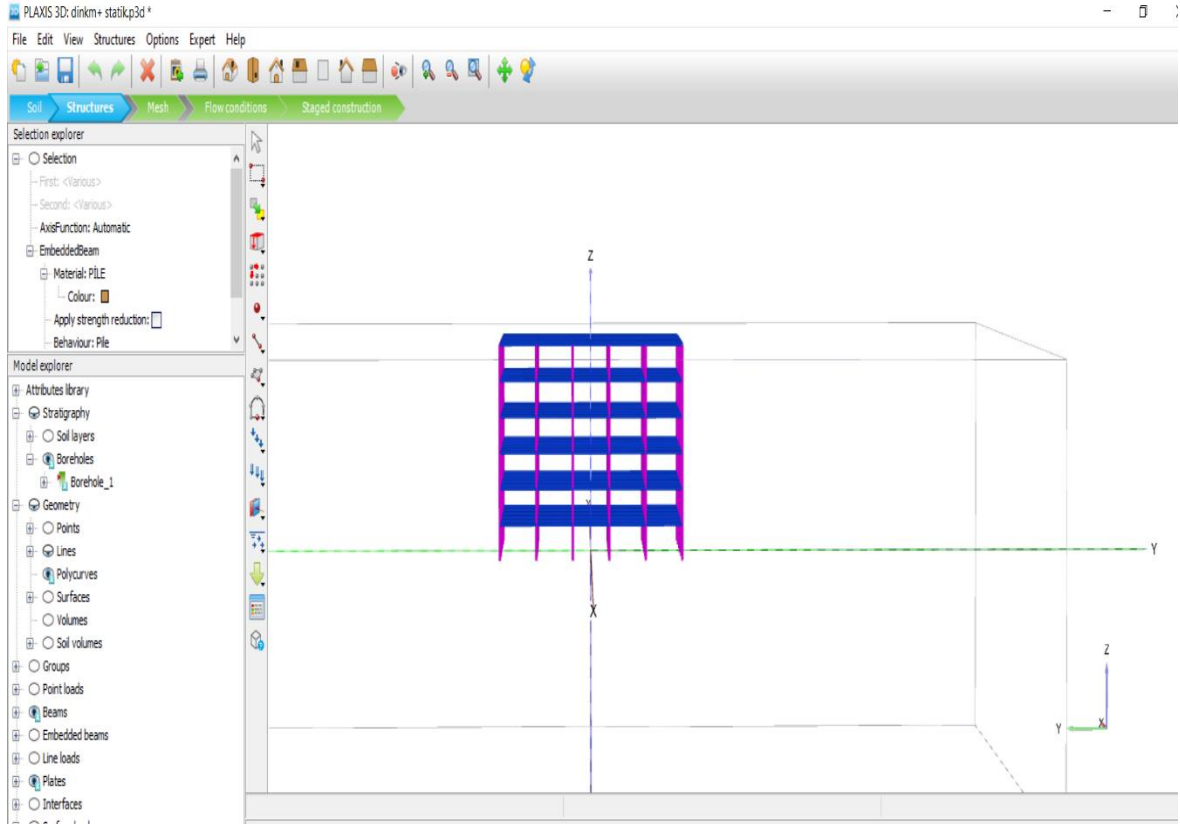


Şekil 2. 11. Üst yapı kolonları x-x yönünden görünümü

Üst yapıda x-x yönünde bir katta 30 adet kiriş, y-y yönünde ise bir katta 30 adet kiriş bulunmaktadır. Bu kirişlerin boyutları 0.25 m x 0.40 m'dir. Tek tek noktasal olarak birbirine bağlantılı bir şekilde eklenmiştir(Şekil 2.12 ve 2.13)

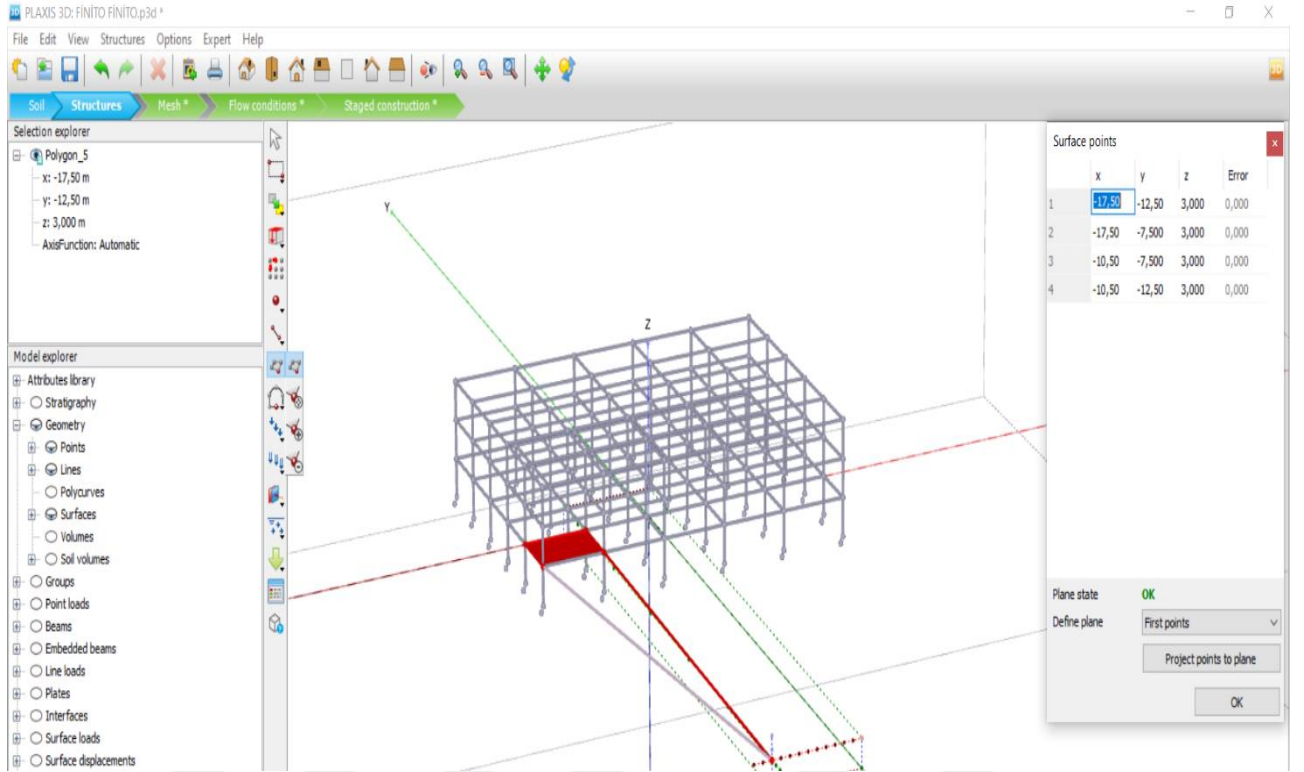


Şekil 2. 12. Üst yapı x-x zemin kat kirişi

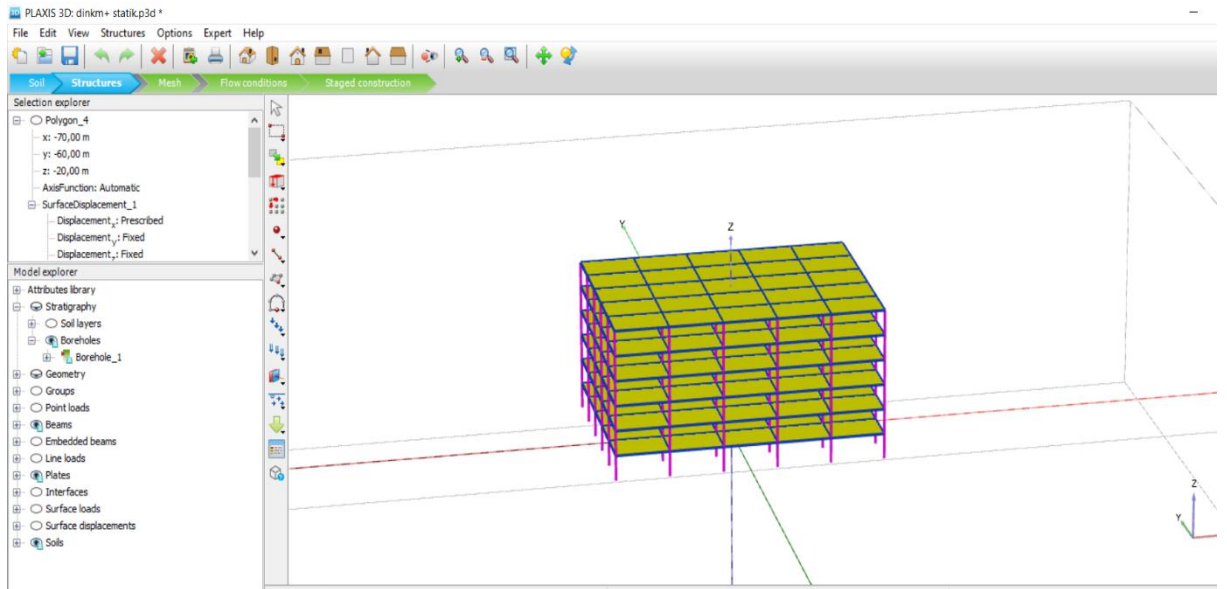


Şekil 2. 13. Üst yapı y-y zemin kat kirişi

Üst yapının döşemeleri 7 m x 5 m'dir. Üst yapıda toplam 25 adet döşeme vardır bu döşemelerini modelleme sisteme veri olarak girildi(Şekil 2.14 ve 2.15).



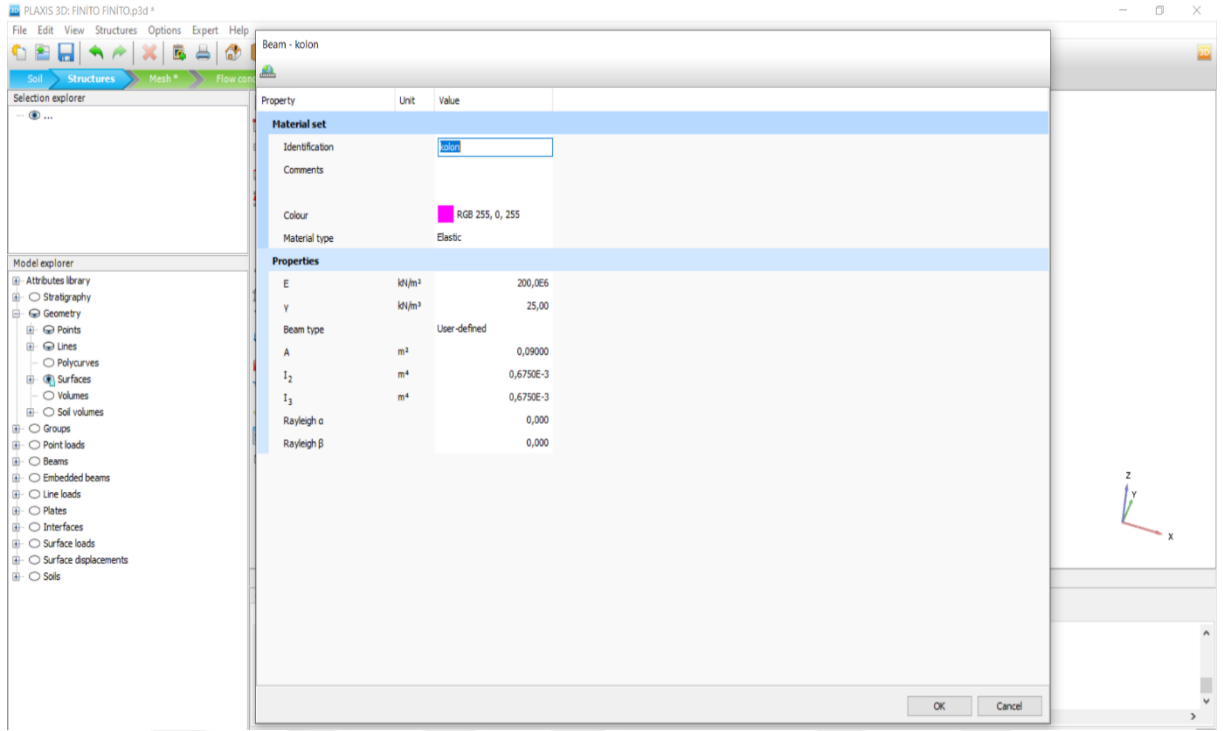
Şekil 2. 14. Üst yapının zemin kat döşeme görünümü



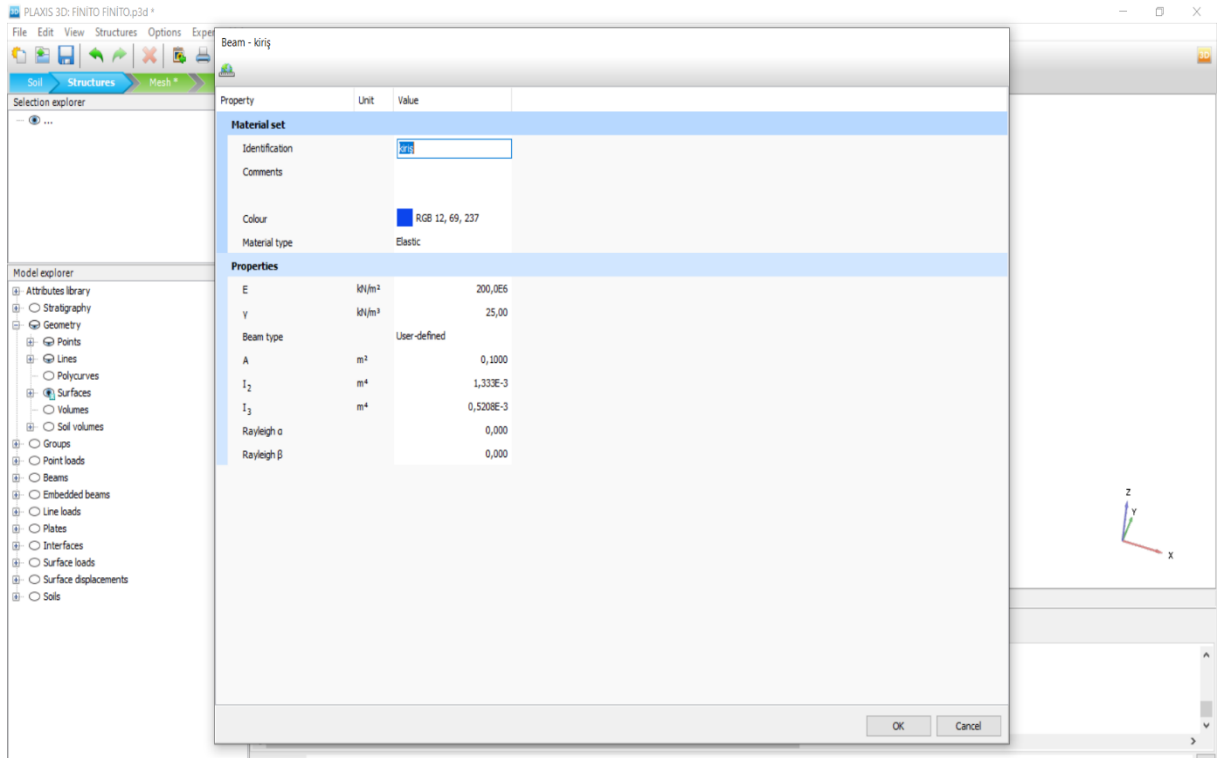
Şekil 2. 15. Üst yapının döşemeleri

Üst yapının kolon, kiriş, döşeme noktaları oluşturulduktan sonra bu statik sistemin malzeme ataması yapıldı. Kolonlar 30 x 30 cm kirişler ise 25 x 40 cm'dir. Döşeme kalınlığı

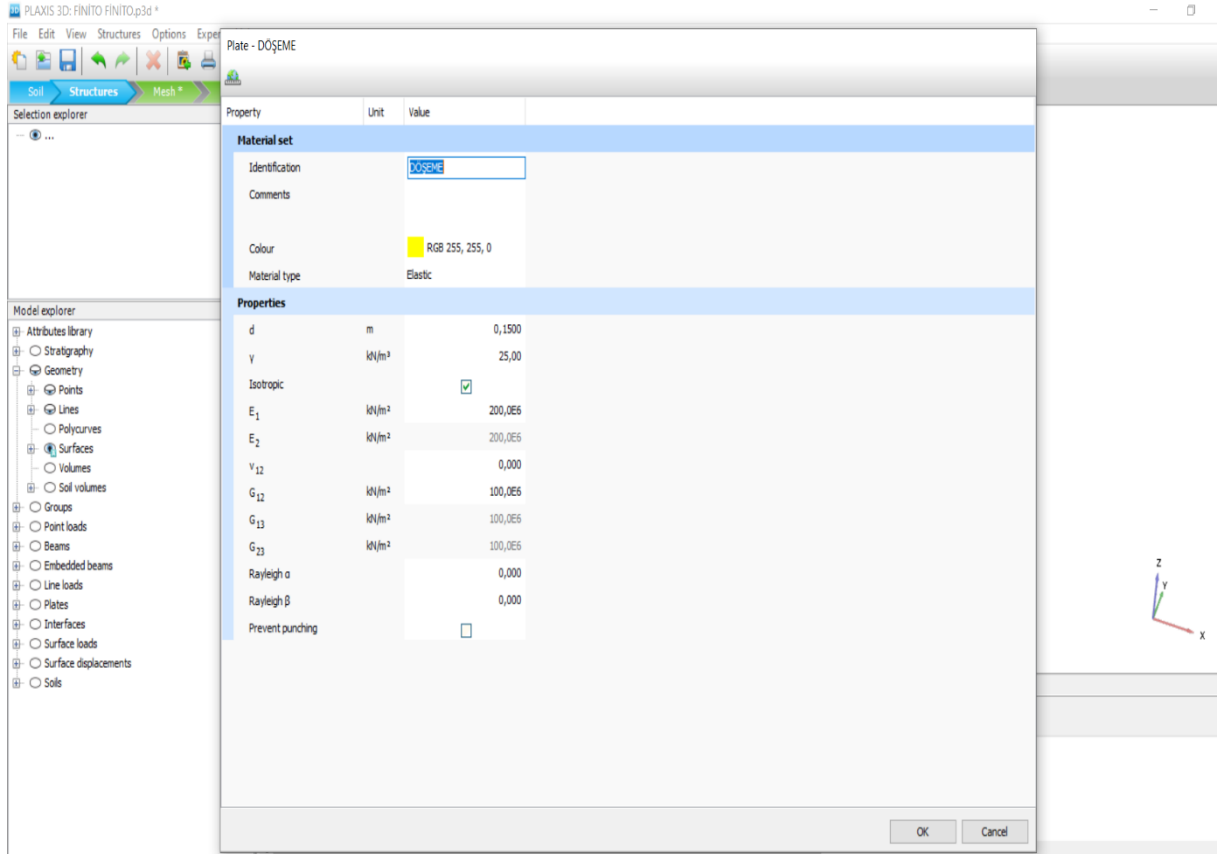
15 cm'dir. Bu taşıyıcı sistemin malzeme özellikleri programa eklendi (Şekil 2.16,2.17 ve 2.18).



Şekil 2. 16. Kolon malzeme özellikleri



Şekil 2. 17. Kiriş malzeme özellikleri



Şekil 2. 18. Döşeme malzeme özellikler

Taşıyıcısını oluşturduğumuz malzeme özellikleri girdiğimiz üst yapının üzerinde taşıyacağı döşeme, kiriş ve kolonların; sabit yükleri (g) ve hareketli yüklerini (q) sisteme girildi. Döşeme sabit yükünde; döşeme özgül ağırlığı, sıva yükü, tesviye harcı ve kaplama yükü dikkate alınmıştır. Bu yükler Tablo 2.3 ve 2.4'te belirtilmiştir.

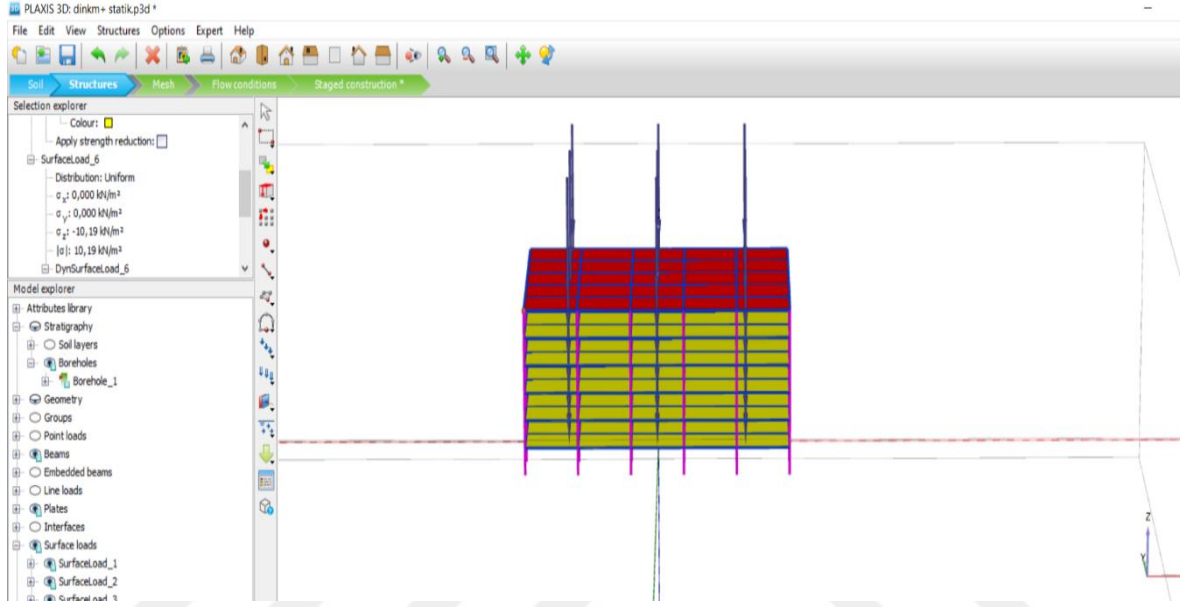
Tablo 2. 3. Döşeme sabit yük

Sabit Yük	G (kN/m ²)
Döşeme özgül ağırlığı	3,75 kN/m ²
Sıva yükü (2cm)	0,36 kN/m ²
Tesviye harcı (5cm)	1 kN/m ²
Kaplama (parke)	0,008 kN/m ²
Toplam	5,19 kN/m²

Tablo 2. 4. Döşeme hareketli yük

Hareketli yük	Q (kN/m ²)
Okul dershane tipi yerlerde	5 kN/m ²

Döşemeler için yük kombinasyonu dinamik yükte (deprem) olduğu için $G+Q=10,19$ kN/m²'dir (Şekil 2.19).



Şekil 2. 19. Döşeme yük değerleri

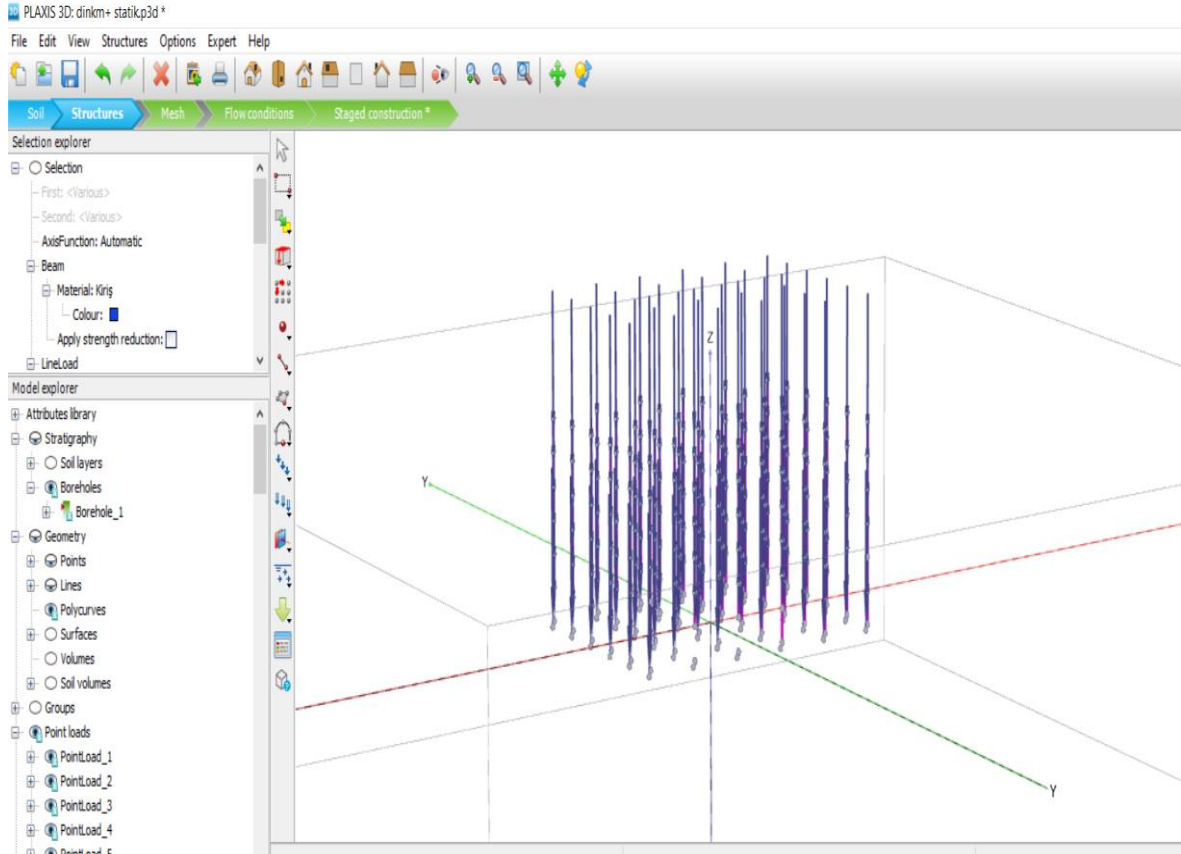
Kirişlerin sabit yükünde kirişlerin özgül ağırlığı ve duvar yükü hesaplanarak eklendi (Tablo 2.5). Kolonlarda ise sadece özgül ağırlığı ele alındı (Tablo2.6). Kolon ve kirişlerin yükleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Şekil 2.20 ve 2.21).

Tablo 2. 5. Kiriş yük

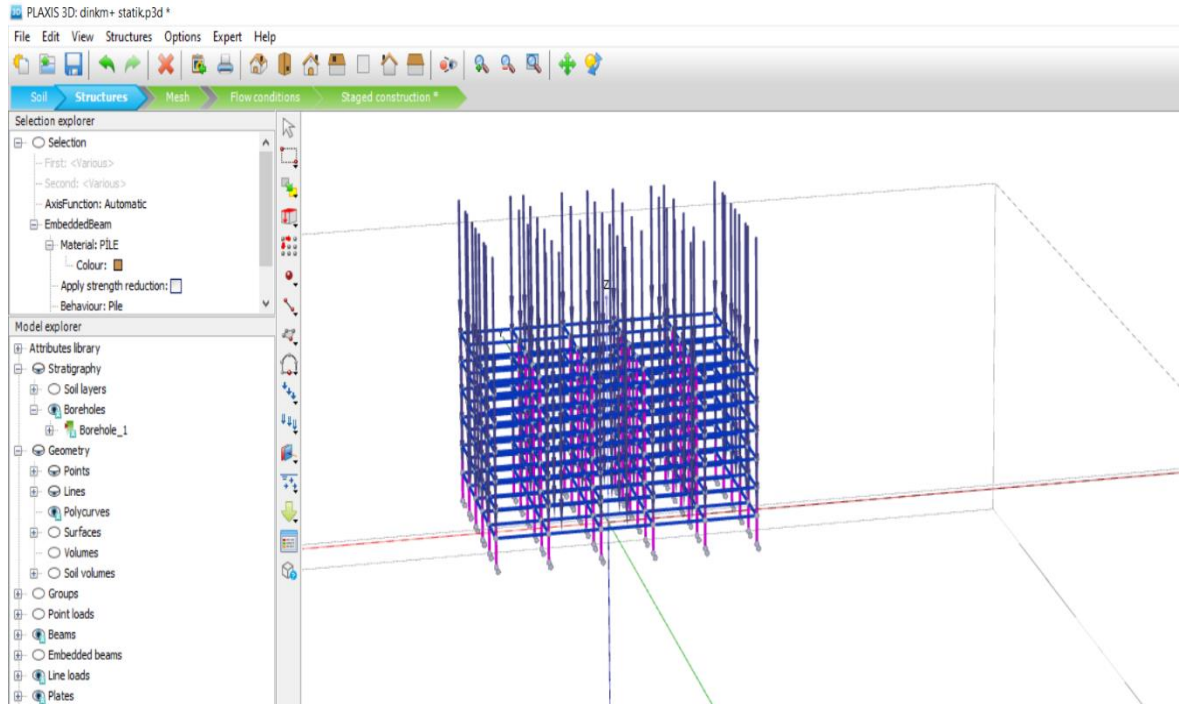
Sabit yük	G (kN/m)
Kiriş duvar yükü	13,84 kN/m
Kiriş özgül ağırlığı	2,5 kN/m
Toplam	16,34 kN/m

Tablo 2. 6. Kolon yük

Sabit yük	G (kN)
Kolon özgül ağırlığı	6,75 kN
Toplam	6,75 kN

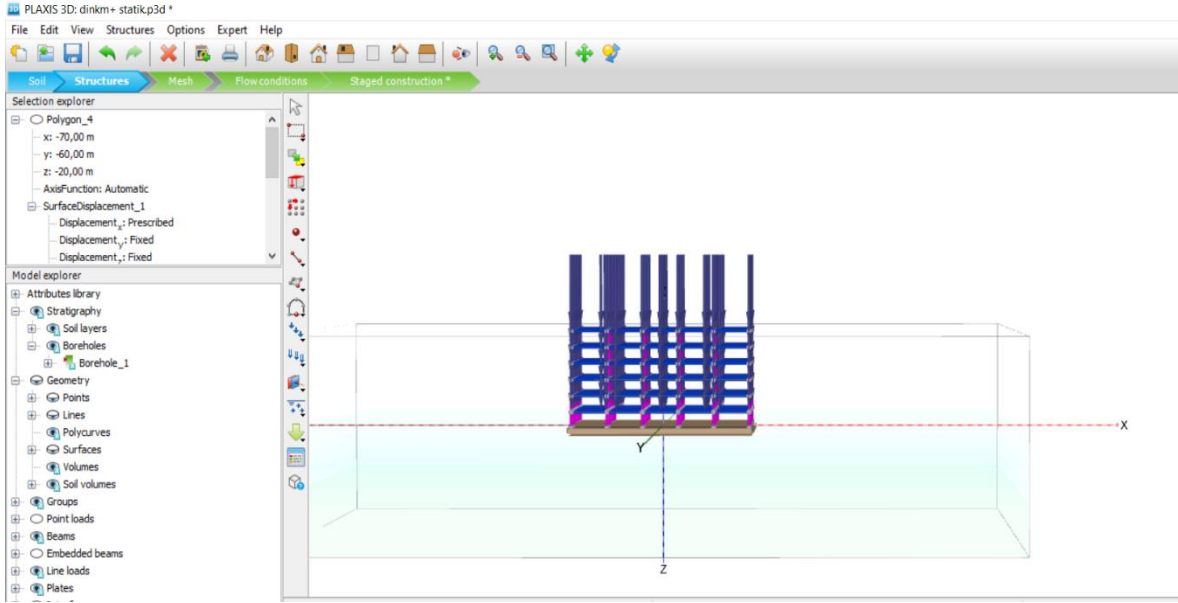


Şekil 2. 20. Kolonları yük gösterimi

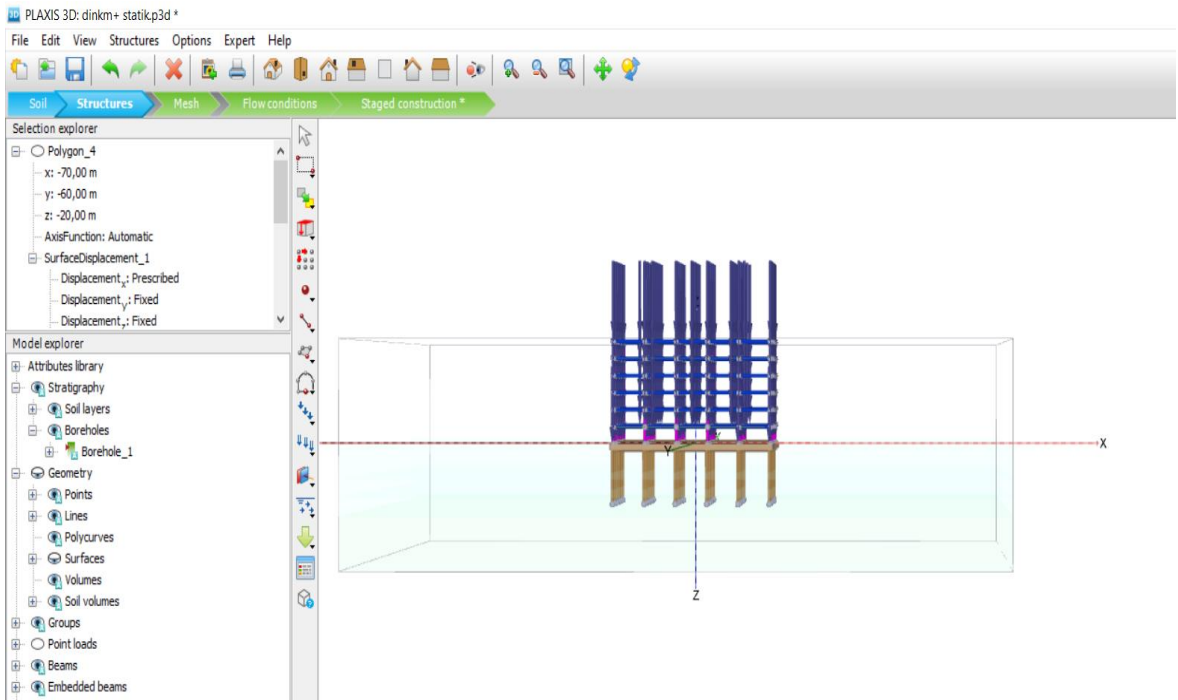


Şekil 2. 21. Kirişlerin yük gösterimi

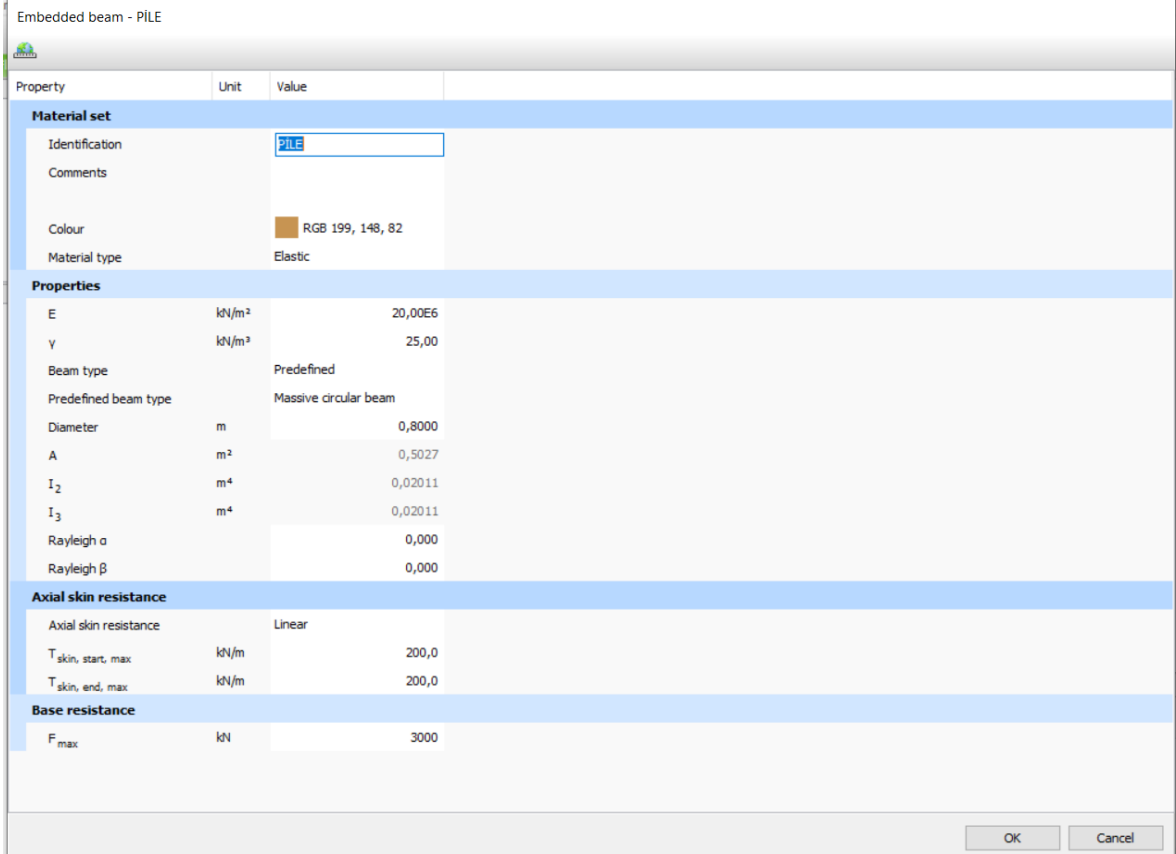
Üst yapının taşıyıcı sisteminin malzeme ve yüklerini girdikten sonra temel olarak kullanılacak olan radye temel sistemi oluşturuldu. Radye temel oluştururken en dış kolon yüzeylerinden 0,5m çıkma yapılarak (-18,-13), (-18,13), (18,13), (18,-13) noktalarında yüzey oluşturuldu ve zemin derinliği 0,75 m alınarak radye temel oluşturuldu (Şekil 2.22). Radye temelin altına 10.5 m uzunluğunda kazıklar eklendi ve malzeme özellikleri veri olarak yüklendi (Şekil 2.23 ve 2.24).



Şekil 2. 22. Radye temel görünümü

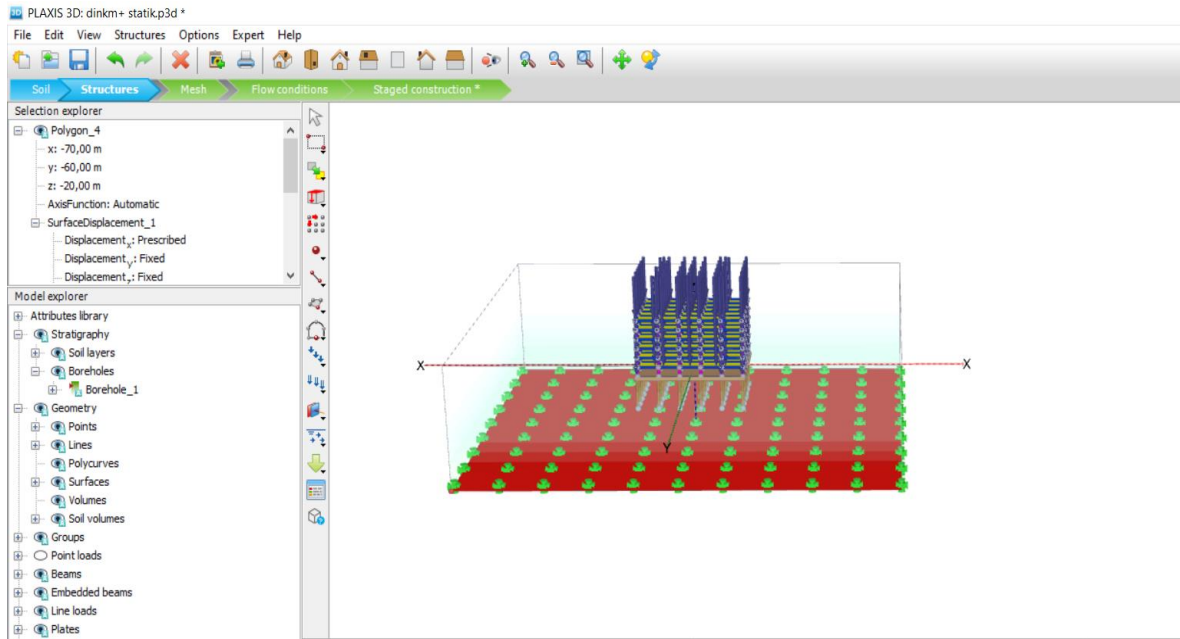


Şekil 2. 23. Radye temel altı kazıklar

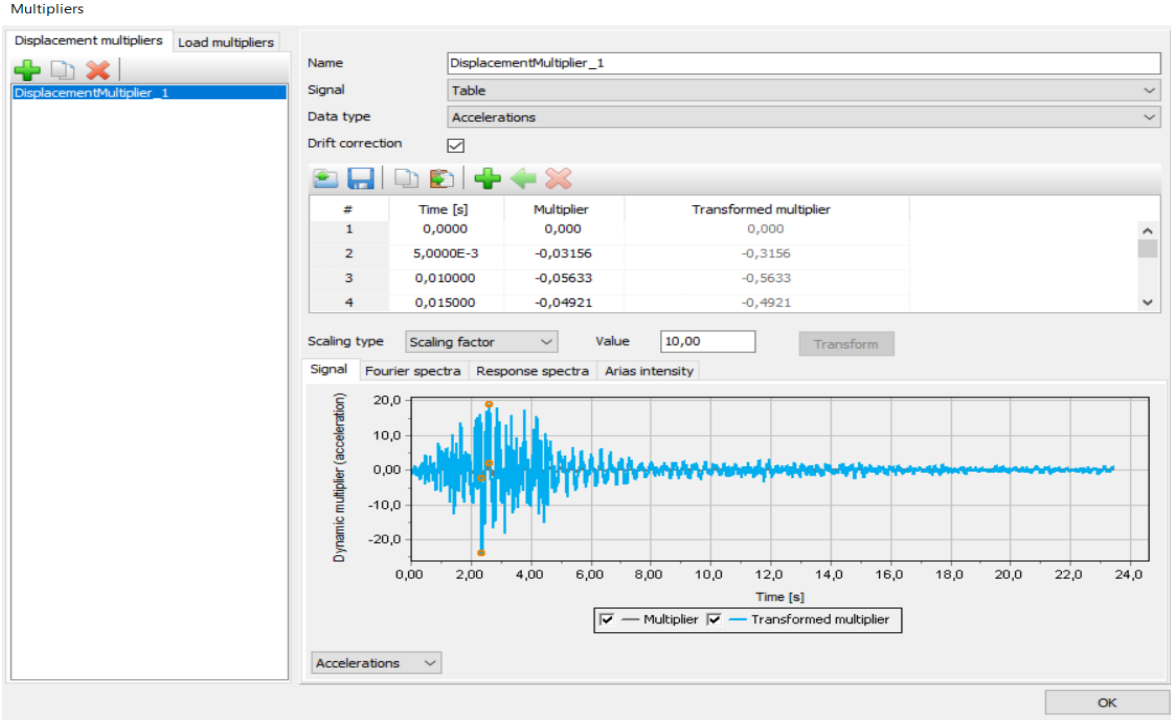


Şekil 2. 24. Kazıkların malzeme özellikleri

Üst yapının zeminine taban yüzey alanı kadar dinamik yük etkisi altında bırakıldı (Şekil 2.25). Bu dinamik yükün değerleri herhangi bir deprem yükü tablo halinde bulunarak sisteme etkinleştirildi (Şekil 2.26).

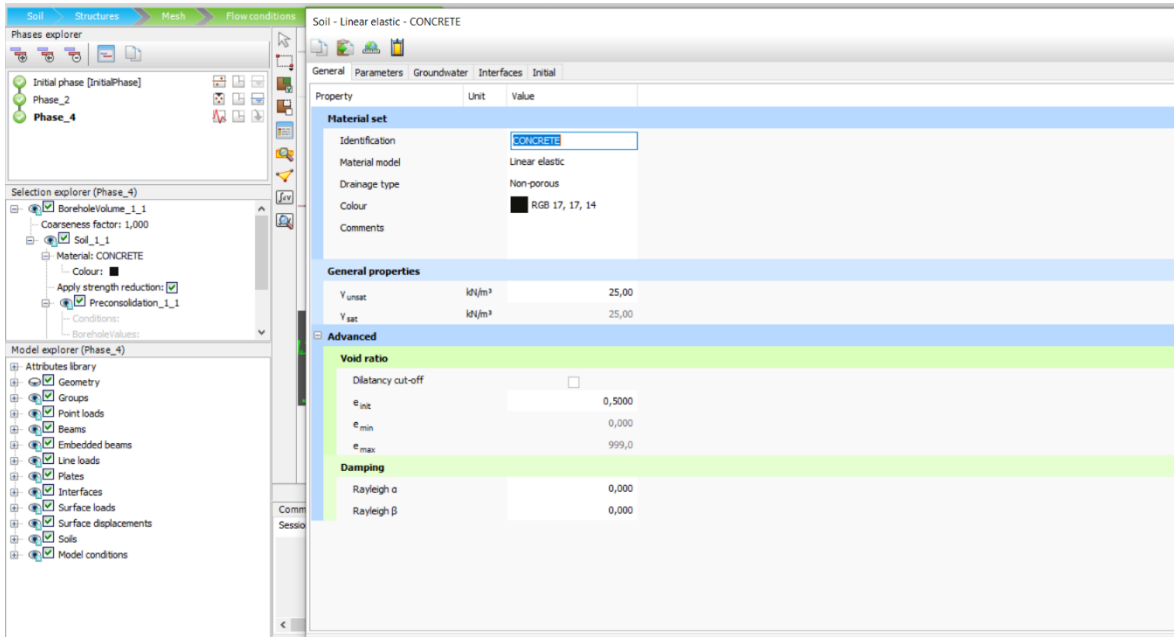


Şekil 2. 25. Zemin dinamik yük etkisi

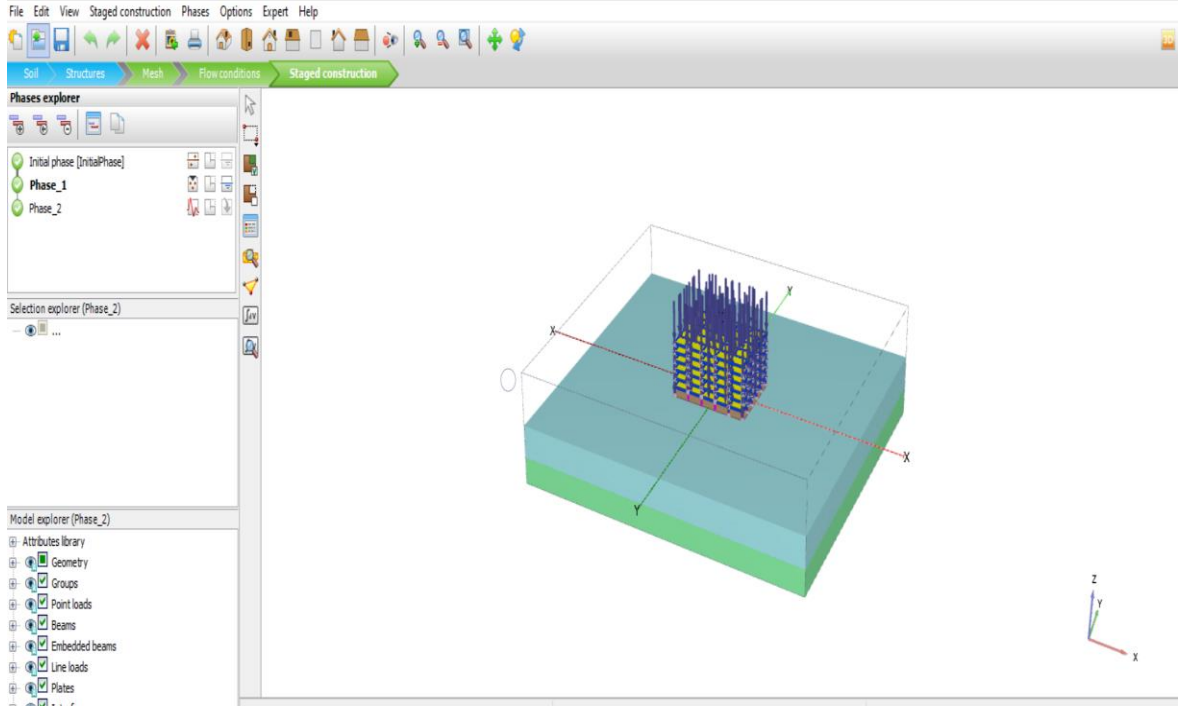


Şekil 2. 26. Zemine etki ettirilen dinamik yükün sisteme yüklenmesi

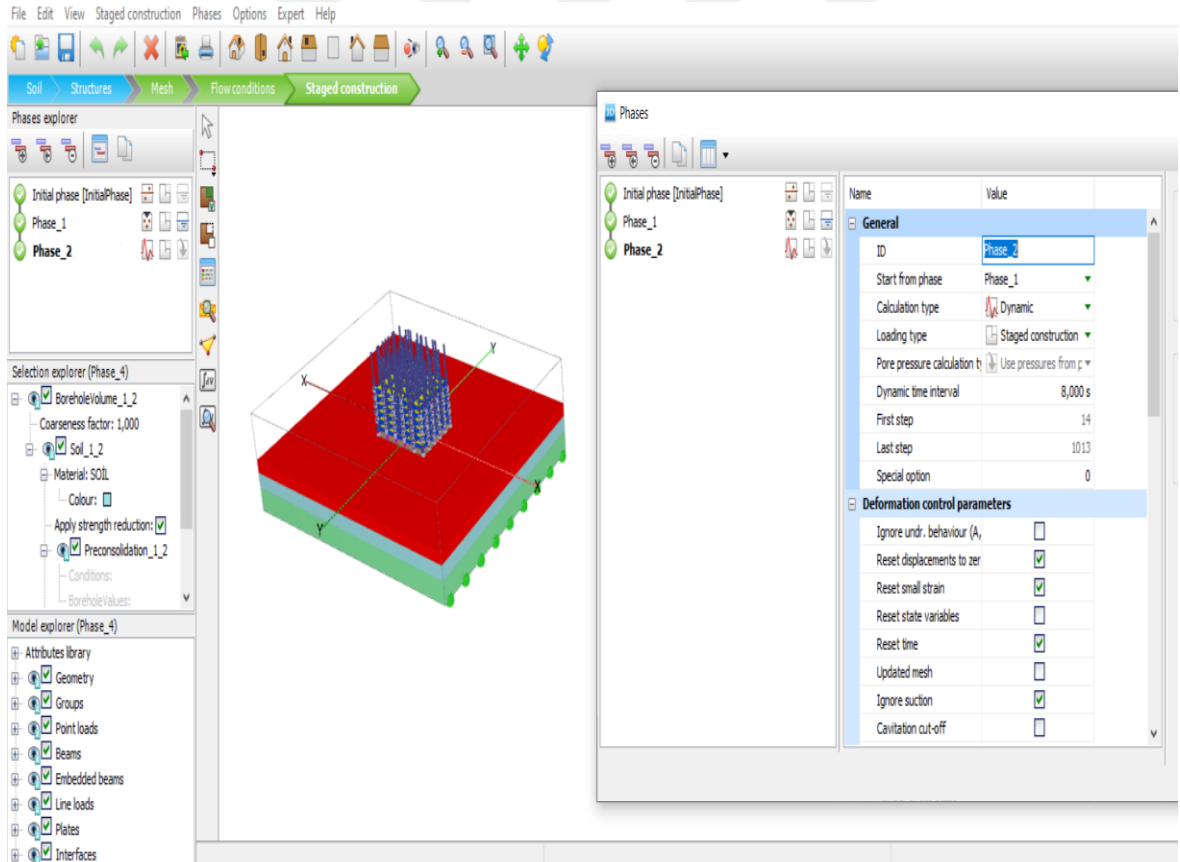
Yapılan modelin son aşaması olan sistemi çözümüne gelindiğinde 2 faz girilmiştir. Bu fazların birincisinde radye temelin beton özellikleri girildi (Şekil 2.27). Kolon, kiriş ve döşeme ait yükler etki ettirildi (Şekil 2.28). İkinci fazda ise statik yüklemeye ek olarak 8 saniyelik dinamik yükleme yapıldı (Şekil 2.29).



Şekil 2. 27. Radye temel beton özellikleri



Şekil 2. 28. Faz 1 gösterimi



Şekil 2. 29. Dinamik yük etkisi altında faz 2

Bu işlemler yapıldıktan sonra aynı sistem uç kazık için yapılmıştır. Uç kazık için yapılırken bazı noktalar değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler zemin yapısında olmuştur. Zemin yapısında yapılan değişiklikler 8m kum 12 m kaya olarak değiştirildi. Böylece kazık 2.5 m ana kayaya soketlenmiştir.



3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulguları kontrol etmek için 7 adet nokta seçilmiştir. Bu noktalar üst yapının kolonlardaki ve kazığın (3.5, -12.5, -10.25) en alt noktası , kazığın(3.25, -12.5, -0.5) en üst noktası , 1. Kat (3.5, -12.5, 3), 2. Kat (3.5, -12.5, 6), 3. Kat (3.5, -12.5, 9), 4. Kat (3.5, -12.5, 12), 5. Kat (3.5, -12.5, 15), 6. Kat (3.5, -12.5, 18) noktaları seçilmiştir.

3.1. Yüzen Kazık İçin

3.1.1. Bina Ağırlığı

Bu okul tipi yapı için bina ağırlığımız kolon, kiriş, döşeme ve temel ağırlıkları toplamıdır. Kolonların 1 tanesinin 6,75 kN'dur. Bir katta 36 adet kolon bulunmakta ve bina 6 katlıdır. Kolonlarımızın toplam ağırlığı ($W=6,75*36*6$) 1458 kN'dur. Kirişlerimiz için 2 adet hesap vardır bunun nedeni x-x ve y-y yönündeki kiriş uzunluklarımızın farklı olmasıdır. İlk olarak x-x yönü 1 adet kirişimizin ağırlığı 16,34 kN/m'dir. X-x yönünde 5 adet kiriş vardır ve bu kirişlerin uzunluğu 35 m'dir. Yapımız 6 katlı olduğu için kirişlerinin toplam ağırlığı ($W=16,34*35*6*6$) 20588,4 kN'dur. Y-y yönündeki 1 adet kiriş ağırlığı 16,34 kN/m'dir. Y-y yönünde 5 adet kiriş vardır ve bu kirişlerin uzunluğu 25 m'dir. Yapımız 6 katlı olduğu için kirişlerinin toplam ağırlığı ($W=16,34*25*6*6$) 14706 kN'dur. Döşemelerin ağırlığı 10,19 kN/m² 'dir. Toplam döşeme ağırlığı binanın eni ve genişliği sırasıyla 35m ve 25m'dir. Yapımızda toplam 6 kat olduğu için döşeme toplam ağırlığı ($W=10,19*25*35*6$) 53497,5 kN'dur. Bina ağırlığını bulmak için son olarak temel ağırlığı kaldı. Radye temeli yaparken 0,5m çıkma eklenmiştir. Bu yüzden temel genişliği ve eni sırasıyla 36 m ve 26 m'dir ve temelin derinliği 0,75 m'dir. Temel ağırlığı ($W=25*36*26*0,75$) 17550 kN'dur. Yapımızın toplam ağırlığı 107800 kN'dur.

3.1.2. Taşıma Gücü Hesabı

3.1.2.1. Zemin İçin Taşıma Gücü Hesabı

Zemin taşıma gücü hesabı Terzaghi taşıma gücü formülüne göre hesaplanmıştır. Terzaghi taşıma gücü formülü aşağıda belirtilmiştir.

$$q_{\text{smir}} = k_1 \cdot c \cdot N_c + p_0' \cdot N_q + k_2 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (1)$$

Bu formüle için k_1 bir katsayı ve hesaplanışı $(1 + 0,2 \frac{B}{L})$, c temel zeminin kohezyonu, γ temel zemininin temel birim hacim ağırlığı, B temel kısa kenarı, k_2 bir kat sayı ve hesaplanışı $(0,5 - 0,1 \frac{B}{L})$, N_c , N_q , N_γ ise birer katsayı ve bu katsayı içsel sürtünme açısının (ϕ) bir fonksiyonudur. (Tablo 3.1)

Tablo 3. 1. Katsayılar tablosu

İçsel sürtünme açısı (ϕ)	N_c	N_q	N_γ
30	37,16	22,46	19,3

$$q_{\text{smir}} = 1,14 \cdot 1 \cdot 37,16 + (0,75 \cdot 18) \cdot 22,46 + 0,43 \cdot 18 \cdot 26 \cdot 19,3 = 4229,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{smir}} = 4229,5 \cdot 26 \cdot 36 = 3958816,12 \text{ kN}$$

3.1.2.2. Yüzen Kazık İçin Taşıma Gücü Hesabı

Düşey yüke mağruz kalan bir kazık için taşıma gücü hesabı aşağıdaki gibidir.

$$Q_u = Q_p + Q_s - W \quad (2)$$

Bu formülizasyona göre Q_u kazığın nihai taşıma gücü, Q_p uç direnci, Q_s sürtünme direnci, W ise kazık ağırlığıdır ama kazık ağırlığı kıyı ve liman yapıları gibi yapılar hariç ihmal edilmektedir (Tomlinson 2004). Meyerhof'a göre kazık uç taşıma gücü aşağıda verilmiştir.

$$Q_p = A_p \cdot \sigma \bar{0} \cdot N_q \leq A_p \cdot q_1 \quad (3)$$

$$q_1 = 0,5 \cdot p_a \cdot N_q \cdot \tan \phi \quad (4)$$

Burada A_p kazık alanı, $\sigma_{\bar{0}}$ düşey efektif gerilmeyi, p_a atmosfer basıncını (≈ 100 kN/m²), ϕ efektif içsel sürtünme açısını, N_q taşıma gücü faktörünü, q_1 kazık uç direnci limit değeridir.

$$q_1 = 0,5 * 100 * 56,7 * 0,58 = 1644,3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = \frac{\pi * 0,8^2}{4} * \sigma_{\bar{0}} * 56,7 \leq \frac{\pi * 0,8^2}{4} * 1644,3$$

$$Q_p = \frac{\pi * 0,8^2}{4} * 1644,3 = 826,51 \text{ kN}$$

Buradan $\sigma_{\bar{0}} = 28,87$ çıkmaktadır.

$$Q_s = A_s * f_{sult} \quad (5)$$

Q_s bulmak için ;

$$f_{sult} = K_s * \sigma_v' * \tan \delta \quad (6)$$

$$1 = K_s / K_o \quad (7)$$

$$\delta = 0,8 * \phi \quad (8)$$

δ kazık - zemin arası sürtünme açısını ($^{\circ}$ derece) ifade etmektedir. “ δ ” açısı zemin kayma direnci açısına eşit ($\delta = 0,8\phi$) alınabilir.

$$K_s = K_o = 0,5$$

$$\delta = 0,8 * 30 = 24$$

$$f_{sult} = 0,5 * (11 * 19 - 9 * 10) * \tan 24 = 26,75$$

$$Q_s = 26,75 * 0,8 * 10,5 = 224,7 \text{ kN}$$

$$Q_u = 826,51 + 224,7 = 1051,21 \text{ kN}$$

3.1.2.3. Oturma Hesabı

Teorik olarak temelin esnek olması durumunda oluşacak olan elastik oturmaya aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (Bowles 1987). Sınır oturma değerleri de tablo 3.2 de verilmiştir.

$$S_i = (q_t - \sigma'_{vo}) * (\alpha * B') * \frac{1 - \nu^2}{E_s} * I_s * I_f$$

Tablo 3. 2. Sınır Oturma Değerleri

Ölçü	Zemin Cinsi	Tekil/Şerit	Radye
Açısal çarpılma (β)		1/300	1/300
Maksimum farklı oturma (Δs)	Kil	40 mm	40 mm
	Kum	25 mm	25 mm
Maksimum toplam oturma (S_{maks})	Kil	65 mm	65 - 100 mm
	Kum	40 mm	40 - 65 mm

Burada; S_i ani oturma, q_t temel taban basıncı, σ'_{vo} temel taban seviyesindeki efektif gerilmeyi, H zemin tabakası kalınlığını, B' temelin genişliğini (temelin merkezi için $\frac{B}{2}$, temelin herhangi bir köşesi için B), α temelin konumuna bağlı bir katsayı, E_s temel zeminin ortalama elastisite modülü, ν poisson oranı, I_s düzeltme katsayısı ve I_f derinlik katsayısıdır.

Temelin merkezindeki oturmanın hesaplanması durumunda; $\alpha=4$, $m'=\frac{L}{B}$ ve $n'=\frac{2H}{B}$ alınır. Temelin herhangi bir köşesindeki oturmayı hesaplamak için ise $\alpha=1$, $m'=\frac{L}{B}$ ve $n'=\frac{H}{B}$ alınır. I_f derinlik katsayısı değeri ise $\frac{D_f}{B}$ ve ν 'ye bağlı olarak belirlenir (tablo 3.3). F_1 ve F_2 katsayıları tablo 3.4 ve 3.5'ten belirlenir.

Tablo 3. 3. I_f derinlik katsayısı tablosu

ν	D_f/B	B/L		
		0.2	0.5	1.0
0.3	0.2	0.95	0.93	0.90
	0.4	0.90	0.86	0.81
	0.6	0.85	0.80	0.74
	1.0	0.78	0.71	0.65
0.4	0.2	0.97	0.96	0.93
	0.4	0.93	0.89	0.85
	0.6	0.89	0.84	0.78
	1.0	0.82	0.75	0.69
0.5	0.2	0.99	0.98	0.96
	0.4	0.95	0.93	0.89
	0.6	0.92	0.87	0.82
	1.0	0.85	0.79	0.72

Tablo 3. 4. F1 katsayısı tablosu

n'	m'																			
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	25.0	50.0	100.0
0.25	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
0.50	0.049	0.046	0.044	0.042	0.041	0.040	0.038	0.038	0.037	0.037	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
0.75	0.095	0.090	0.087	0.084	0.082	0.080	0.077	0.076	0.076	0.074	0.073	0.073	0.072	0.072	0.072	0.072	0.071	0.071	0.071	0.071
1.00	0.142	0.138	0.134	0.130	0.127	0.125	0.121	0.118	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110	0.110	0.110
1.25	0.186	0.183	0.179	0.176	0.173	0.170	0.165	0.161	0.158	0.157	0.155	0.154	0.153	0.152	0.151	0.151	0.150	0.150	0.150	0.150
1.50	0.224	0.224	0.222	0.219	0.216	0.213	0.207	0.203	0.199	0.197	0.195	0.194	0.192	0.191	0.190	0.190	0.189	0.188	0.188	0.188
1.75	0.257	0.259	0.259	0.258	0.255	0.253	0.247	0.242	0.238	0.235	0.233	0.232	0.229	0.228	0.227	0.226	0.225	0.223	0.223	0.223
2.00	0.285	0.290	0.292	0.292	0.291	0.289	0.284	0.279	0.275	0.271	0.269	0.267	0.264	0.262	0.261	0.260	0.259	0.257	0.256	0.256
2.25	0.309	0.317	0.321	0.323	0.323	0.322	0.317	0.313	0.308	0.305	0.302	0.300	0.296	0.294	0.293	0.291	0.291	0.287	0.287	0.287
2.50	0.330	0.341	0.347	0.350	0.351	0.351	0.348	0.344	0.340	0.336	0.333	0.331	0.327	0.324	0.322	0.321	0.320	0.316	0.315	0.315
2.75	0.348	0.361	0.369	0.374	0.377	0.378	0.377	0.373	0.369	0.365	0.362	0.359	0.355	0.352	0.350	0.348	0.347	0.343	0.342	0.342
3.00	0.363	0.379	0.389	0.396	0.400	0.402	0.402	0.400	0.396	0.392	0.389	0.386	0.382	0.378	0.376	0.374	0.373	0.368	0.367	0.367
3.25	0.376	0.394	0.406	0.415	0.420	0.423	0.426	0.424	0.421	0.418	0.415	0.412	0.407	0.403	0.401	0.399	0.397	0.391	0.390	0.390
3.50	0.388	0.408	0.422	0.431	0.438	0.442	0.447	0.447	0.444	0.441	0.438	0.435	0.430	0.427	0.424	0.421	0.420	0.413	0.412	0.411
3.75	0.399	0.420	0.436	0.447	0.454	0.460	0.467	0.458	0.466	0.464	0.461	0.458	0.453	0.449	0.446	0.443	0.441	0.433	0.432	0.432
4.00	0.408	0.431	0.448	0.460	0.469	0.476	0.484	0.487	0.486	0.484	0.482	0.479	0.474	0.470	0.466	0.464	0.462	0.453	0.451	0.451
4.25	0.417	0.440	0.458	0.472	0.481	0.484	0.495	0.514	0.515	0.515	0.516	0.516	0.496	0.484	0.473	0.471	0.471	0.470	0.468	0.462
4.50	0.424	0.450	0.469	0.484	0.495	0.503	0.516	0.521	0.522	0.522	0.520	0.517	0.513	0.508	0.505	0.502	0.499	0.489	0.487	0.487
4.75	0.431	0.458	0.478	0.494	0.506	0.515	0.530	0.536	0.539	0.539	0.537	0.535	0.530	0.526	0.523	0.519	0.517	0.506	0.504	0.503
5.00	0.437	0.465	0.487	0.503	0.516	0.526	0.543	0.551	0.554	0.554	0.552	0.552	0.548	0.543	0.540	0.536	0.534	0.522	0.519	0.519
5.25	0.443	0.472	0.494	0.512	0.526	0.537	0.555	0.564	0.568	0.569	0.569	0.568	0.564	0.560	0.556	0.553	0.550	0.537	0.534	0.534
5.50	0.448	0.478	0.501	0.520	0.534	0.546	0.566	0.576	0.581	0.584	0.584	0.583	0.579	0.575	0.571	0.568	0.585	0.551	0.549	0.548
5.75	0.453	0.483	0.508	0.527	0.542	0.555	0.576	0.588	0.594	0.597	0.597	0.594	0.590	0.586	0.583	0.580	0.585	0.583	0.583	0.582
6.00	0.457	0.489	0.514	0.534	0.550	0.563	0.585	0.598	0.606	0.609	0.611	0.610	0.608	0.604	0.601	0.598	0.595	0.579	0.576	0.575
6.25	0.461	0.493	0.519	0.540	0.557	0.570	0.594	0.609	0.617	0.621	0.623	0.623	0.621	0.618	0.615	0.611	0.608	0.592	0.589	0.588
6.50	0.465	0.498	0.524	0.546	0.563	0.577	0.603	0.618	0.627	0.632	0.635	0.635	0.634	0.631	0.628	0.625	0.622	0.605	0.601	0.600
6.75	0.468	0.502	0.529	0.551	0.569	0.584	0.610	0.627	0.637	0.643	0.646	0.647	0.646	0.644	0.641	0.637	0.634	0.617	0.613	0.612
7.00	0.471	0.506	0.533	0.556	0.575	0.590	0.618	0.635	0.646	0.653	0.656	0.658	0.658	0.656	0.653	0.650	0.647	0.628	0.624	0.623
7.25	0.474	0.509	0.538	0.561	0.580	0.596	0.625	0.643	0.655	0.662	0.666	0.669	0.669	0.668	0.665	0.662	0.659	0.640	0.635	0.634
7.50	0.477	0.513	0.541	0.565	0.585	0.601	0.631	0.650	0.663	0.671	0.676	0.679	0.680	0.679	0.676	0.673	0.670	0.651	0.646	0.645
7.75	0.480	0.516	0.545	0.569	0.589	0.606	0.637	0.658	0.671	0.680	0.685	0.688	0.690	0.689	0.687	0.684	0.681	0.661	0.656	0.655
8.00	0.482	0.519	0.549	0.573	0.594	0.611	0.643	0.664	0.678	0.688	0.694	0.697	0.700	0.700	0.698	0.695	0.692	0.672	0.666	0.665
8.25	0.485	0.522	0.552	0.577	0.598	0.615	0.648	0.670	0.685	0.695	0.702	0.706	0.710	0.710	0.708	0.705	0.703	0.682	0.676	0.675
8.50	0.487	0.524	0.555	0.580	0.601	0.619	0.653	0.676	0.692	0.703	0.710	0.714	0.719	0.719	0.718	0.715	0.713	0.692	0.686	0.684
8.75	0.489	0.527	0.558	0.583	0.605	0.623	0.658	0.682	0.698	0.710	0.717	0.722	0.727	0.728	0.727	0.725	0.723	0.701	0.695	0.693
9.00	0.491	0.529	0.560	0.587	0.609	0.627	0.663	0.687	0.705	0.716	0.725	0.730	0.736	0.737	0.736	0.735	0.732	0.710	0.704	0.702
9.25	0.493	0.531	0.563	0.589	0.612	0.631	0.667	0.693	0.710	0.723	0.731	0.737	0.744	0.746	0.745	0.744	0.742	0.719	0.713	0.711
9.50	0.495	0.533	0.565	0.592	0.615	0.634	0.671	0.697	0.716	0.719	0.738	0.744	0.752	0.754	0.754	0.753	0.751	0.728	0.721	0.719
9.75	0.496	0.536	0.568	0.595	0.618	0.638	0.675	0.702	0.721	0.735	0.744	0.751	0.759	0.762	0.762	0.761	0.759	0.737	0.729	0.727
10.00	0.498	0.537	0.570	0.597	0.621	0.641	0.679	0.707	0.726	0.740	0.750	0.758	0.766	0.770	0.770	0.770	0.768	0.745	0.738	0.735
20.00	0.529	0.575	0.614	0.647	0.677	0.702	0.756	0.797	0.830	0.858	0.878	0.896	0.925	0.945	0.959	0.969	0.977	0.982	0.965	0.957
50.00	0.548	0.598	0.640	0.678	0.711	0.740	0.803	0.853	0.895	0.931	0.962	0.989	1.034	1.070	1.100	1.125	1.146	1.265	1.279	1.261
100.0	0.555	0.605	0.649	0.688	0.722	0.753	0.819	0.872	0.918	0.956	0.990	1.020	1.072	1.114	1.150	1.182	1.209	1.408	1.489	1.499

Tablo 3. 5. F2 katsayısı tablosu

n'	m'																			
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	25.0	50.0	100.0
0.25	0.049	0.050	0.051	0.051	0.051	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
0.50	0.074	0.077	0.080	0.081	0.083	0.084	0.086	0.086	0.087	0.087	0.087	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
0.75	0.083	0.089	0.093	0.097	0.099	0.101	0.104	0.106	0.107	0.108	0.109	0.109	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.111	0.111	0.111
1.00	0.083	0.091	0.098	0.102	0.106	0.109	0.114	0.117	0.119	0.120	0.121	0.122	0.123	0.123	0.124	0.124	0.124	0.125	0.125	0.125
1.25	0.080	0.089	0.096	0.102	0.107	0.111	0.118	0.122	0.125	0.127	0.128	0.130	0.131	0.132	0.132	0.133	0.133	0.134	0.134	0.134
1.50	0.075	0.084	0.093	0.099	0.105	0.110	0.118	0.124	0.128	0.130	0.132	0.134	0.136	0.137	0.138	0.138	0.139	0.140	0.140	0.140
1.75	0.069	0.079	0.088	0.095	0.101	0.107	0.117	0.123	0.128	0.131	0.134	0.136	0.138	0.140	0.141	0.142	0.142	0.144	0.144	0.145
2.00	0.064	0.074	0.083	0.090	0.097	0.102	0.114	0.121	0.127	0.131	0.134	0.136	0.139	0.141	0.143	0.144	0.145	0.147	0.147	0.148
2.25	0.059	0.069	0.077	0.085	0.092	0.098	0.110	0.119	0.125	0.130	0.133	0.136	0.140	0.142	0.144	0.145	0.146	0.149	0.150	0.150
2.50	0.055	0.064	0.073	0.080	0.087	0.093	0.106	0.115	0.122	0.127	0.132	0.135	0.139	0.142	0.144	0.146	0.147	0.151	0.151	0.151
2.75	0.051	0.060	0.068	0.076	0.082	0.089	0.102	0.111	0.119	0.125	0.130	0.133	0.138	0.142	0.144	0.146	0.147	0.152	0.152	0.153
3.00	0.048	0.056	0.064	0.071	0.078	0.084	0.097	0.108	0.116	0.122	0.127	0.131	0.137	0.141	0.144	0.145	0.			

3.1.2.3.1. Yüzen Kazık İçin Oturma Hesabı

Temel boyutlar 36 m x 26 m olduğundan $B = 26$, $L = 36$ alınır. Temelin uç noktasından ana kayaya olan uzaklık ($H=11-0,75$) 10,25 m'dir. Temel ağırlığı dahil bina ağırlığı (W) 107951 kN. Temel derinliği (D_f) 0,75 m, poisson oranının (ν) 0,3, elastisite modülü (E) 15000 kPa, birim hacim ağırlığı (γ) 18.

$$\sigma'_{vo} = \gamma * D_f = 18 * 0,75 = 13,5 \text{ kPa} \quad (9)$$

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{26}{2} = 13 \quad (10)$$

$$m' = \frac{L}{B} = \frac{36}{26} = 1,38 \quad (11)$$

$$n' = \frac{2H}{B} = \frac{2 * 10,25}{26} = 0,85 \quad (12)$$

m' ve n' değerlerinde tablo 3.3 ve 3.4'e bakılarak F_1 ve F_2 katsayıları sırasıyla 0,134 ve 0,098'dir.

$$I_s = F_1 + \frac{1-2\nu}{1-\nu} * F_2 \quad (13)$$

$$I_s = 0,134 + \frac{1-2*0,3}{1-0,3} * 0,098 = 0,187$$

I_f değeri tabloya bakıldığında 0,93 alınmıştır.

$$S_i = (q_t - \sigma'_{vo}) * (\alpha * B') * \frac{1-\nu^2}{E_s} * I_s * I_f \quad (14)$$

$$S_i = (107800 - 13,5) * (4 * 13) * \frac{1-0,3^2}{15000} * 0,187 * 0,93 = 59 \text{ mm'dir.}$$

Kum zeminler 65 mm sınır değerdir. 59 mm sınır değere yakın olduğu için kazık kullanılmıştır.

3.1.2.3.2. Uç Kazık İçin Oturma Hesabı

Temel boyutlar 36 m x 26 m olduğundan $B = 26$, $L = 36$ alınır. Temelin uç noktasından ana kayaya olan uzaklık ($H=8-0,75$) 7,25 m'dir. Temel ağırlığı dahil bina ağırlığı (W) 107951 kN. Temel derinliği (D_f) 0,75 m, poisson oranının (ν) 0,3, elastisite modülü (E) 15000 kPa, birim hacim ağırlığı (γ) 18.

$$\sigma'_{vo} = \gamma * D_f = 18 * 0,75 = 13,5 \text{ kPa}$$

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{26}{2} = 13$$

$$m' = \frac{L}{B} = \frac{36}{26} = 1,38$$

$$n' = \frac{2H}{B} = \frac{2 * 7,25}{26} = 0,65$$

m' ve n' değerlerinde tablo 3.3 ve 3.4'e bakılarak F₁ ve F₂ katsayıları sırasıyla 0,087 ve 0,093'dir.

$$I_s = F_1 + \frac{1-2*v}{1-v} * F_2$$

$$I_s = 0,087 + \frac{1-2*0,3}{1-0,3} * 0,093 = 0,140$$

I_f değeri tabloya bakıldığında 0,93 alınmıştır.

$$S_i = (q_t - \sigma'_{vo}) * (\alpha * B') * \frac{1-v^2}{E_s} * I_s * I_f$$

$$S_i = (107800 - 13,5) * (4 * 13) * \frac{1-0,3^2}{15000} * 0,140 * 0,93 = 44,33 \text{ mm'dir.}$$

3.1.3. Faz 1 İçin Statik Durumda Kazıkların Yük Paylaşım Oranları

Kazıkların yük paylaşım oranları hesaplariken ilk önce hesaplarımız sonucu ortaya çıkan her bir kazığı yani 36 adet kazığın statik durumda oluşan normal kuvvetlerine bakılır. Bu normal kuvvetler toplanır. Toplam normal kuvvetler bina ağırlığına bölünür. Bölündükten sonra ortaya çıkan sayı 100 ile çarpılarak kazığın yük paylaşım oranı bulunur. Bu bulunan sonuçtan 100'den çıkartırsak elde ettiğimiz sonuç radye temelinin yük paylaşım oranıdır.

Yüzen kazık için statik durumda faz 1 eşiğinde 36 adet kazığın toplam normal kuvveti aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Tablo 3.6)

Tablo 3. 6. Yüzen kazık statik durumda kazıkların normal kuvvetler tablosu

Kazığın numarası	Normal kuvvet (kN)
1	469,5
2	776,2
3	950
4	852,4
5	680,6
6	495,5
7	625,1
8	838,3
9	909,2
10	1053
11	789,6
12	441,7
13	823,5
14	881,6
15	1215
16	1296
17	958
18	699
19	667,6
20	868,3
21	1126
22	1003
23	975,5

Tablo 3. 6 'nın devamı

24	738,5
25	675,3
26	665
27	1010
28	1067
29	690,6
30	522,9
31	460,4
32	713,9
33	1019
34	1104
35	594,8
36	490,9
Toplam	29146,9

Toplam normal kuvveti 29146,9 kN'dur. Binanın ağırlığı ise 107800 kN olduğuna kazıkların ve temelin yük paylaşım oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.7).

Tablo 3. 7. Yük paylaşım oranları tablosu

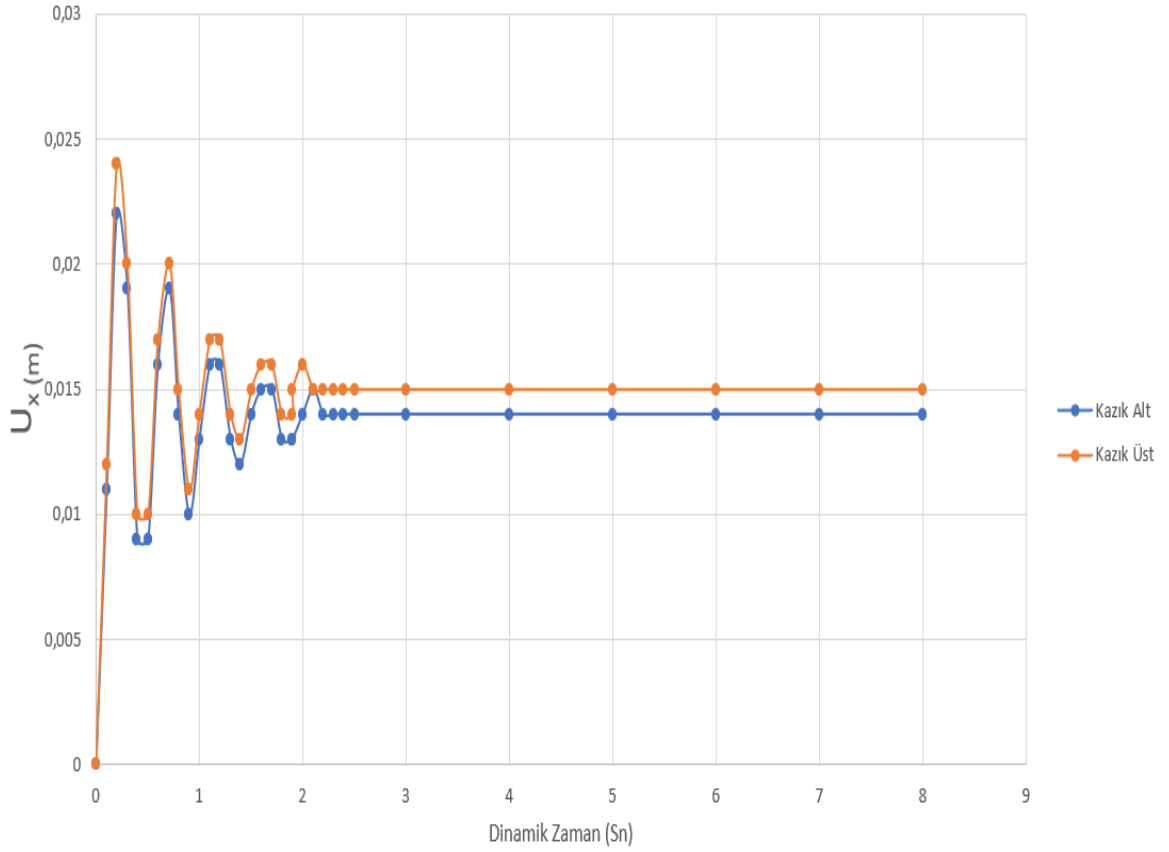
Bina ağırlığı	107800 kN
Kazık normal kuvveti	29146,9 kN
Kazık yük paylaşım oranı	%27,04
Temel yük paylaşım oranı	%72,96

Yüzen kazığın statik durumda yük paylaşım oranlarına baktıktan sonra dinamik duruma geçiliyor.

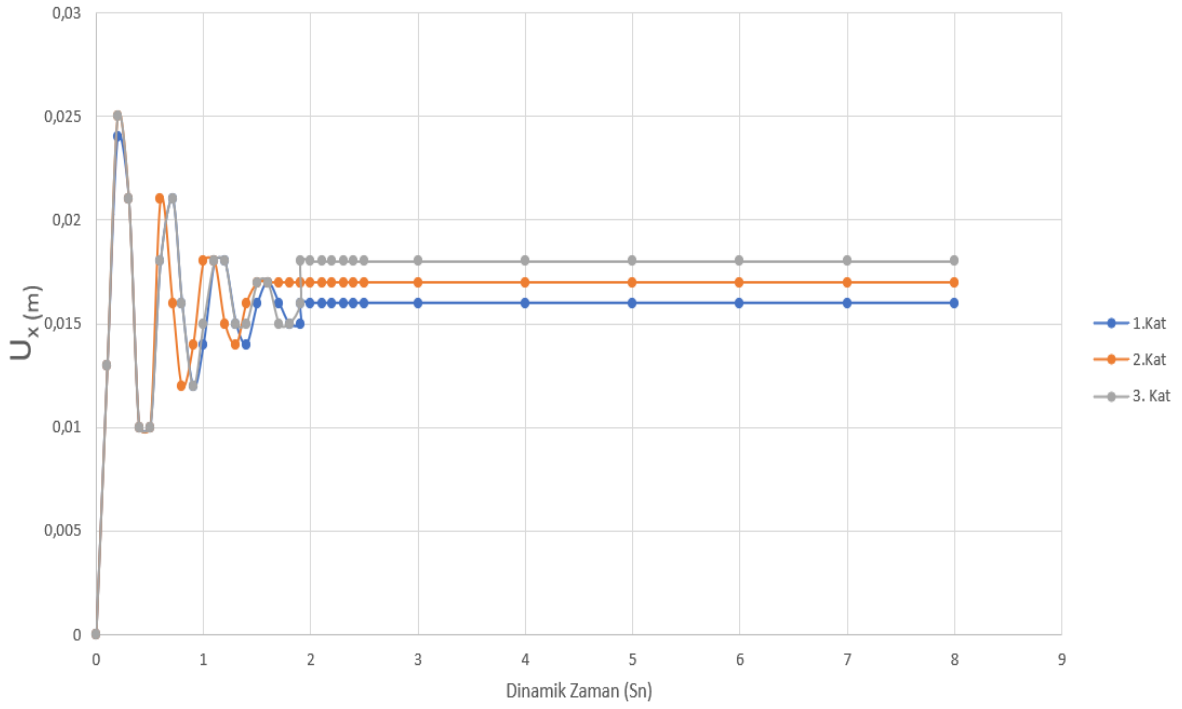
3.1.4. Faz-2 Dinamik Etkisi Altında İnceleme

Dinamik durumu ele aldığımızda 8 saniyelik bir deprem etki etmiştir. Bu deprem sonunca belirlediğimiz kazık alt ve üst noktası, 1., 2., 3., 4., 5., 6. Kattaki belirlediğimiz kolonların yaptığı deplasmanlar, ivmeleri, kesme kuvvetleri ve dinamik analizde kazıkların yük paylaşım durumları incelenmiştir.

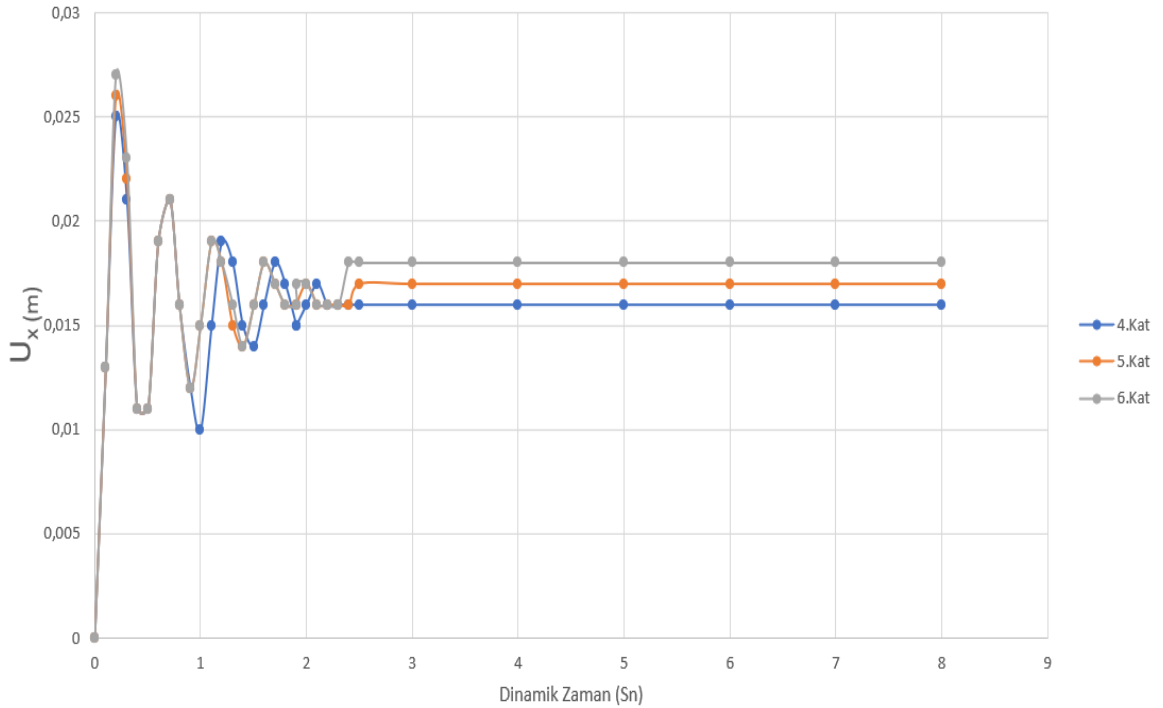
Daha önceden belirlediğimiz noktalardaki dinamik zamanda oluşan deplasman bakıldı (Şekil 3.1,3.2 ve 3.3). Kazık alt ve üst deplasmanları bakıldığında kazığın üst kısmında daha fazla deplasmanlar olduğu görülmektedir. Her kattan belirlediğimiz noktalarda ise deplasmanlar birbirine çok yakındır ama en üstteki kattan en alttaki kata kadar deplasmanlar azalarak devam etmektedir.



Şekil 3. 1. Kazık alt ve üst noktaları deformasyonu

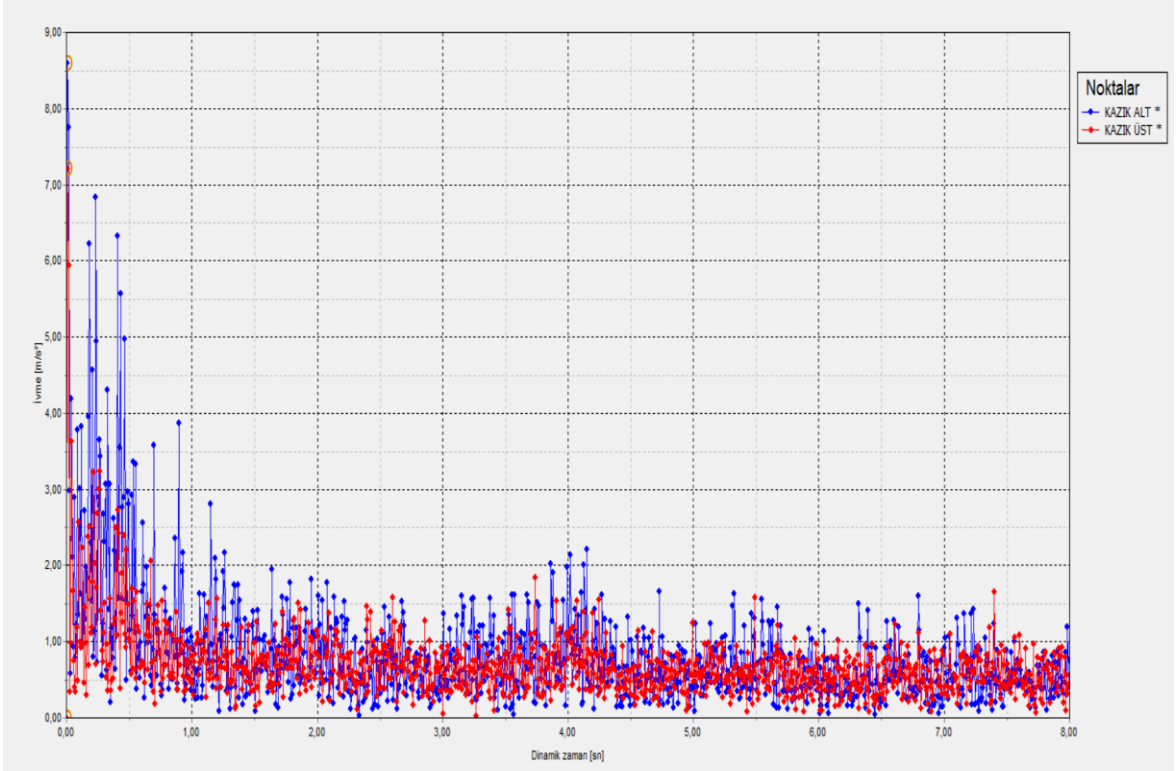


Şekil 3. 2. 1-2-3. katlar deformasyonları

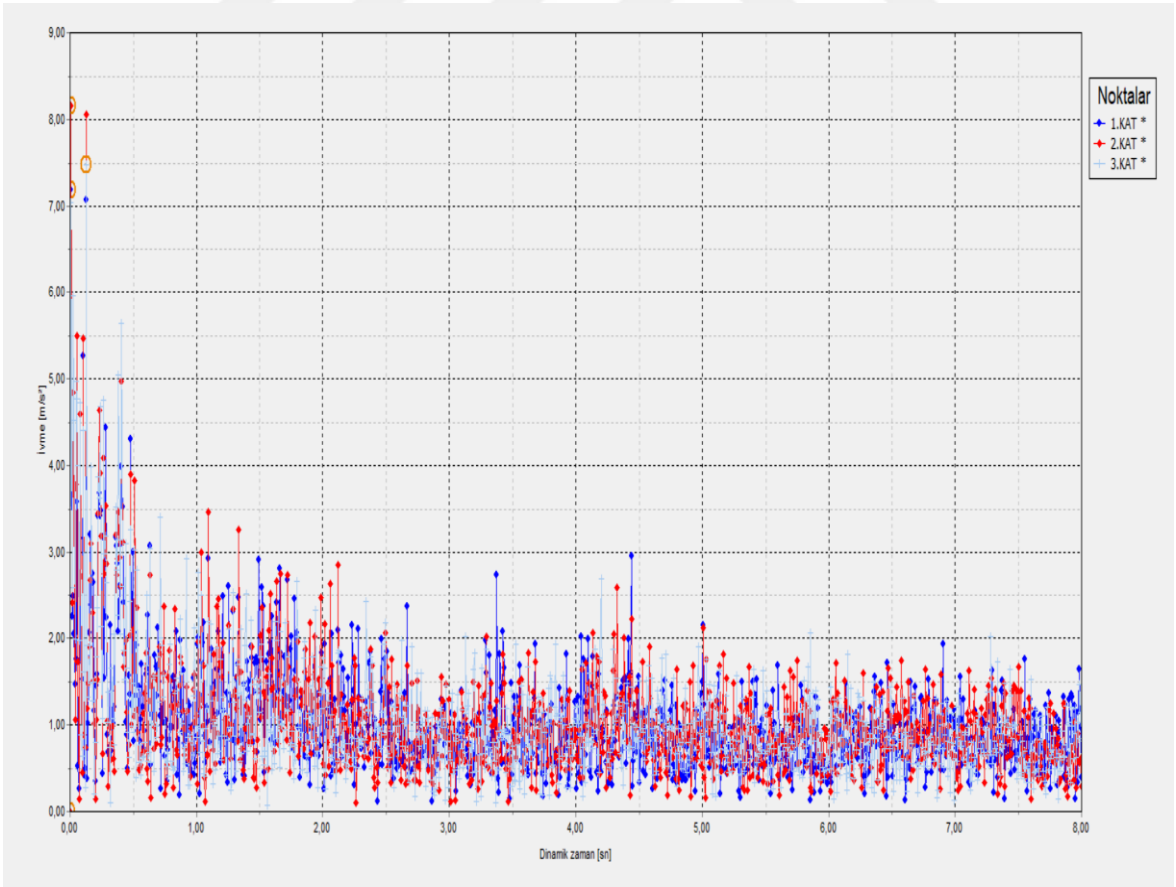


Şekil 3. 3. 4-5-6. katlar deformasyonları

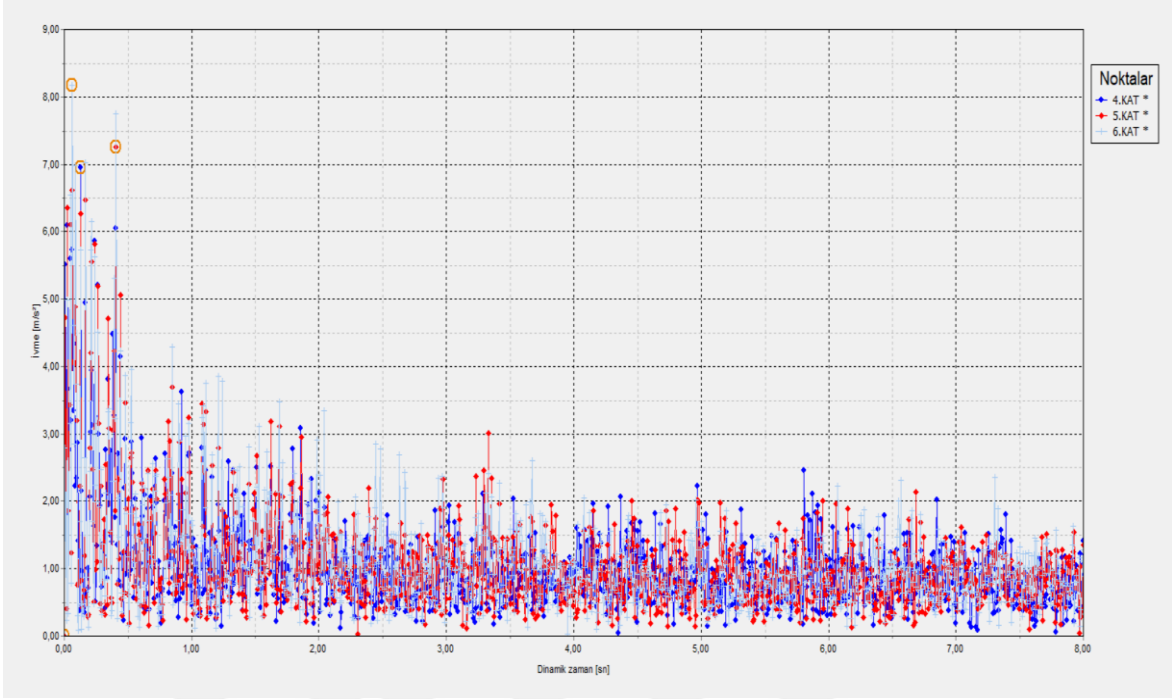
Belirli noktadaki ivmelere bakılmıştır (Şekil 3.4,3.5 ve 3.6). Kazığın alt noktasında deprem bölgesi daha fazla yakın olduğu için ivmelenme orada daha fazla olmuştur. Katlardaki ivmelenmede ise değişik sıralanmalarda gelmiştir.



Şekil 3. 4 Kazık alt ve üst nokta ivmesi

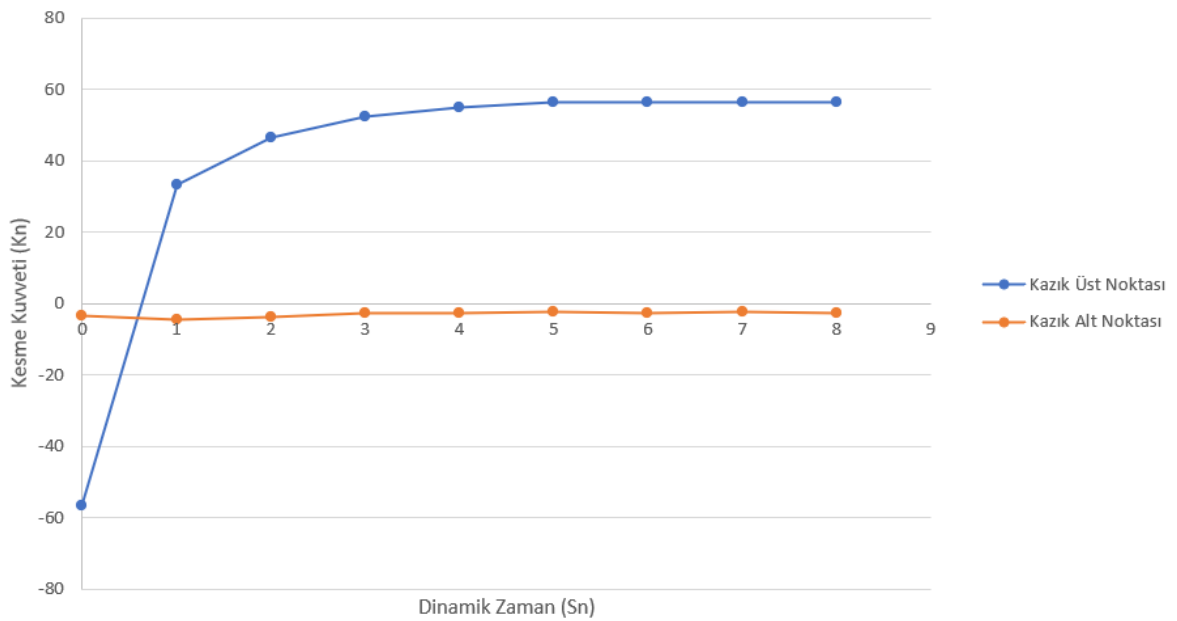


Şekil 3. 5. 1-2-3. katlar ivmesi

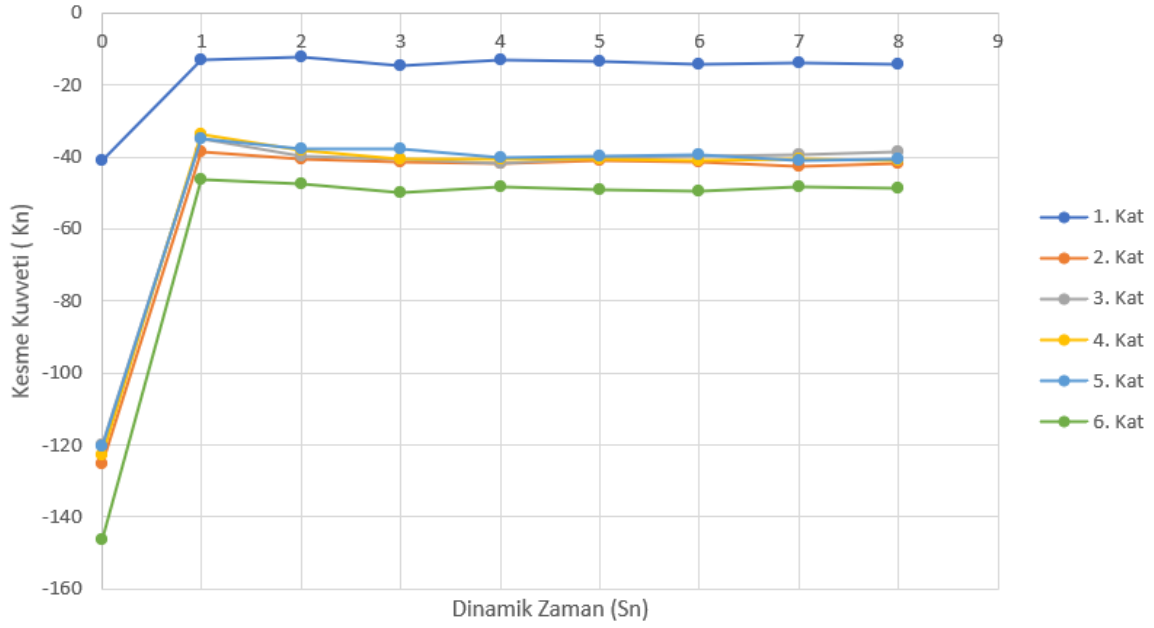


Şekil 3. 6. 4-5-6. katlar ivmesi

Kazığın alt ve üst noktadaki kesme kuvvetlerine bakılmış burada kazığın alt noktasında kesme kuvveti az üst noktasında kesme kuvveti daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil3.7). Katlardaki duruma bakıldığında ise kat sayısı arttıkça artış olduğu dinamik süre ilerledikçe azda olsa artmalar bazen de küçükte olsa azalmalar olduğu görülmüştür (Şekil3.8).



Şekil 3. 7. Kazık alt ve üst noktası kesme kuvveti



Şekil 3. 8. 1-2-3-4-5-6. kat kesme kuvveti

Faz-2 etkisinde dinamik zamanda yük paylaşım oranlarına bakılacaktır. Yük paylaşım oranları hesaplanırken dinamik zaman 8 saniye 8 bölümde saniyelik hareketinde her kazık için normal kuvvetlerine bakılacaktır (Tablo3.8). Toplam normal kuvvetleri bulduktan sonra binanın en alt kolonunun kolon uç etkisindeki normal kuvvetlerini saniyelik zamanda alınarak temel yükü de ilave edildikten sonra binanın dinamik durumda ağırlığı bulunmuş olmaktadır. Dinamik zamandan kazıkların normal kuvvetlerini yine dinamik zamandan kolon uç etkileri ile temel ağırlığını toplayıp böldüğümüzde kazık yük paylaşım oranlarını bulunmaktadı.

Tablo 3. 8 .Dinamik zamanda kazıkların saniyelik normal kuvvetleri (kN)

No/Sn	1	2	3	4	5	6	7	8
1	668,2	669,1	669	669,2	669,2	669,3	669,5	669,6
2	1026	1026	1026	1026	1026	1026	1026	1026
3	1240	1237	1236	1236	1236	1236	1236	1236
4	1115	1114	1113	1113	1113	1113	1113	1113
5	922,8	922,6	922,2	922	922	922,2	922,2	922,2

Tablo 3. 8 'in devamı

6	759	763,5	763,3	763,4	763,4	763,5	763,6	763,8
7	845,2	847,4	847,3	847,4	847,4	847,4	847,5	847,7
8	1060	1058	1058	1058	1058	1058	1058	1058
9	1146	1143	1143	1143	1143	1143	1143	1143
10	1316	1312	1312	1312	1312	1311	1311	1311
11	1012	1010	1009	1009	1009	1009	1009	1009
12	622,3	623,5	623,5	623,6	623,7	623,7	623,8	624
13	1091	1093	1093	1093	1093	1093	1093	1093
14	1090	1087	1086	1086	1086	1086	1086	1086
15	1505	1500	1499	1499	1499	1499	1499	1499
16	1604	1601	1600	1599	1599	1599	1599	1599
17	1208	1206	1205	1205	1204	1205	1205	1205
18	940,8	941,1	940,8	941	941	941	941,2	941,2
19	889,5	890	889,8	889,8	889,8	889,8	889,9	889,9
20	1088	1086	1085	1085	1085	1085	1085	1085
21	1378	1374	1373	1372	1372	1372	1372	1372
22	1238	1234	1233	1233	1233	1233	1233	1233
23	1243	1240	1239	1239	1239	1239	1239	1239
24	1011	1013	1013	1013	1013	1014	1014	1014
25	921,6	922,5	922	921,9	921,8	921,9	922	922,1
26	845	844,3	843,6	843,5	843,5	843,6	843,6	843,6
27	1257	1253	1252	1252	1252	1252	1252	1252
28	1323	1319	1318	1318	1318	1318	1318	1318
29	880,9	879,3	878,6	878,4	878,5	878,5	878,7	878,7

Tablo 3. 8 'in devamı

30	742,1	745,1	745	745,1	745	745	745	745
31	682,1	683,8	683,4	683,4	683,4	683,4	683,5	683,6
32	955,7	955,8	955	954,8	954,7	954,9	955	955
33	1306	1304	1302	1302	1302	1302	1302	1302
34	1458	1456	1455	1455	1455	1455	1455	1455
35	794,3	794	793,4	793,6	793,7	793,7	793,8	793,8
36	739,3	742,2	742	742,2	742,3	742,4	742,6	742,7
Toplam	37923,8	37890,2	37868,9	37867,3	37866,4	37868,3	37869,9	37870,9

Kolonlara gelen uç kuvvetler ise aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3. 9. Dinamik zamanda kolon normal kuvvetleri (kN)

No/Sn	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1787	1763	1764	1766	1764	1762	1761	1763
2	2457	2445	2447	2443	2444	2446	2447	2445
3	2598	2580	2581	2584	2583	2582	2854	2582
4	2397	2376	2376	2384	2381	2382	2382	2380
5	2297	2291	2291	2288	2288	2288	2289	2289
6	2155	2134	2140	2139	2135	2132	2131	2133
7	1836	1812	1812	1811	1808	1806	1806	1808
8	3228	3232	3233	3231	3226	3228	3229	3229
9	3262	3252	3249	3257	3253	3253	3257	3254
10	3319	3307	3305	3311	3308	3312	3312	3310
11	3156	3150	3150	3148	3141	3145	3146	3147

Tablo 3. 9 'un devamı

12	2106	2082	2081	2083	2076	2074	2073	2076
13	2012	1988	1995	1996	1992	1988	1988	1989
14	3088	3082	3094	3085	3083	3086	3087	3088
15	3065	3062	3065	3069	3070	3072	3071	3069
16	3024	3021	3030	3032	3032	3035	3034	3032
17	3026	3016	3032	3023	3020	3025	3026	3026
18	2126	2115	2124	2127	2120	2116	2114	2119
19	1983	1972	1981	1984	1984	1978	1977	1978
20	3082	3084	3095	3085	3083	3087	3088	3087
21	3010	3000	3005	3008	3010	3011	3012	3009
22	3053	3047	3061	3066	3071	3073	3070	3068
23	2915	2917	2929	2920	2919	2923	2922	2922
24	2088	2067	2070	2071	2066	2061	2060	2062
25	2066	2047	2053	2056	2053	2050	2049	2051
26	3218	3216	3214	3213	3211	3212	3213	3214
27	3210	3203	3201	3208	3207	3210	3209	3209
28	3362	3343	3346	3350	3350	3350	3353	3350
29	3187	3181	3179	3181	3176	3179	3179	3179
30	2197	2175	2172	2179	2179	2168	2166	2169
31	1841	1815	1813	1816	1813	1813	1812	1814
32	2349	2339	2337	2335	2336	2336	2336	2337
33	2566	2556	2552	2555	2555	2554	2554	2554
34	2522	2503	2502	2504	2504	2503	2504	2503
35	2277	2263	2263	2263	2261	2261	2262	2262

Tablo 3. 9 'un devamı

36	1885	1870	1867	1871	1869	1868	1867	1868
Toplam	93750	93306	93409	93442	93371	93369	93639	93066
Radye + kolon	111300	110856	110959	110992	110921	110919	111189	110616

Yapının yüzen kazık sisteminde dinamik durumunda kazıkların ve radyenin yük paylaşım oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo3.10).

Tablo 3. 10. Yüzen kazık için yük paylaşım oranları

Süre	1	2	3	4	5	6	7	8
Temel + kolon ağırlığı	111300 kN	110856 kN	110959 kN	110992 kN	110921 kN	110919 kN	111189 kN	110616 kN
Kazık normal kuvveti	37923 kN	37890 kN	37868 kN	37867 kN	37866 kN	37868 kN	37869 kN	37870 kN
Kazık yük paylaşım oranı	34,07	34,17	34,12	34,11	34,13	34,14	34,05	34,23
Radyenin yük paylaşım oranı	65,93	65,83	65,88	65,89	65,87	65,86	65,95	65,77

3.2. Uç Kazık İçin

3.2.1. Bina Ağırlığı

Binanın yapısı ilk durumdaki gibi aynı olduğu için bu farklı zemin yapısında da binanın ağırlığı aynıdır. Bu yüzden bu ikinci durumda binanın ağırlığı 107800 kN'dur.

3.2.2. Taşıma Gücü Hesabı

3.2.2.1. Zemin Taşıma Gücü Hesabı

Zemin taşıma gücü hesabı Terzaghi taşıma gücü formülüne göre hesaplanmıştır. Terzaghi taşıma gücü formülü aşağıda belirtilmiştir.

$$q_{\text{sınır}} = k_1 * c * N_c + p_0' * N_q + k_2 * \gamma * B * N_\gamma \quad (1)$$

Bu formüle için k_1 bir kat sayı ve hesaplanışı $(1 + 0,2 \frac{B}{L})$, c temel zeminin kohezyonu, γ temel zemininin temel birim hacim ağırlığı, B temel kısa kenarı, k_2 bir kat sayı ve hesaplanışı $(0,5 - 0,1 \frac{B}{L})$, N_c , N_q , N_γ ise birer katsayı ve bu katsayı içsel sürtünme açısının (ϕ) bir fonksiyonudur (Tablo 3.11).

Tablo 3. 11. Sabit katsayılar

İçsel sürtünme açısı (ϕ)	N_c	N_q	N_γ
30	37,16	22,46	19,3

$$q_{\text{sınır}} = 1,14 * 1 * 37,16 + (0,75 * 18) * 22,46 + 0,43 * 18 * 26 * 19,3 = 4229,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{sınır}} = 4229,5 * 26 * 36 = 3958816,12 \text{ kN}$$

3.2.2.2. Uç Kazık Taşıma Gücü Hesabı

Statik kazık formülleri kullanılırken kum, çakıl gibi iri taneli zeminler için hesap efektif gerilmelere göre yani drenajlı şartlar için; kil, silt gibi ince taneli zeminlerde ise

toplam gerilmelere göre yani drenajsız şartlar için yapılır (Toğrol ve Tan, 2009). Zhang ve Einstein (1998) bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$Q_{uç} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) * (4,83 q_{ur}^{0,51}) + (0,8 q_{ur}^{0,5}) * (\pi * D * L_s)$$

L_s = kazık soket boyu

q_{ur} = kayacın tek eksenli basınç dayanımı

D = kazığın çapı

$$Q_{uç} = \frac{\pi 0,8^2}{4} * (4,83 * 105^{0,51}) + (0,8 * 105^{0,5}) * (\pi * 0,8 * 2,5) = 77,5637 \text{ MPa}$$

3.2.3. Faz 1 İçin Statik Durumda Kazıkların Yük Paylaşım Oranları

Kazıkların yük paylaşım oranları hesaplariken ilk önce hesaplarımız sonucu ortaya çıkan her bir kazığı yani 36 adet kazığın statik durumda oluşan normal kuvvetlerine bakılır. Bu normal kuvvetler toplanır. Toplam normal kuvvetler bina ağırlığına bölünür. Bölündükten sonra ortaya çıkan sayı 100 ile çarpılarak kazığın yük paylaşım oranı bulunur. Bu bulunan sonuçtan 100'den çıkartırsak elde ettiğimiz sonuç radyenin taşıdığı yüküdür.

Yüzen kazık için statik durumda faz 1 eşiğinde 36 adet kazığın toplam normal kuvveti aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo3.12).

Tablo 3. 12. Uç kazık için statik durumda kazıkların normal kuvvetleri

Kazığın numarası	Normal kuvvet (kN)
1	806,5
2	1454
3	1753
4	1536
5	1362
6	843,4
7	1179
8	1698

Tablo 3. 12 'nin devamı

9	1800
10	1970
11	1625
12	925,3
13	1514
14	1669
15	2315
16	2586
17	1733
18	1302
19	1358
20	1913
21	2244
22	1984
23	1961
24	1314
25	1197
26	1411
27	2014
28	2015
29	1506
30	1014
31	847,9
32	1416

Tablo 3. 12 'nin devamı

33	1730
34	1890
35	1208
36	812,5
Toplam	55906,6 kN

Kazığın toplam normal kuvveti 55906,6 kN'dur. Binanın ağırlığı ise 107800 kN olduğuna kazıkların ve radyenin yük paylaşım oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.13).

Tablo 3. 13. Statik durum için yük paylaşım oranları

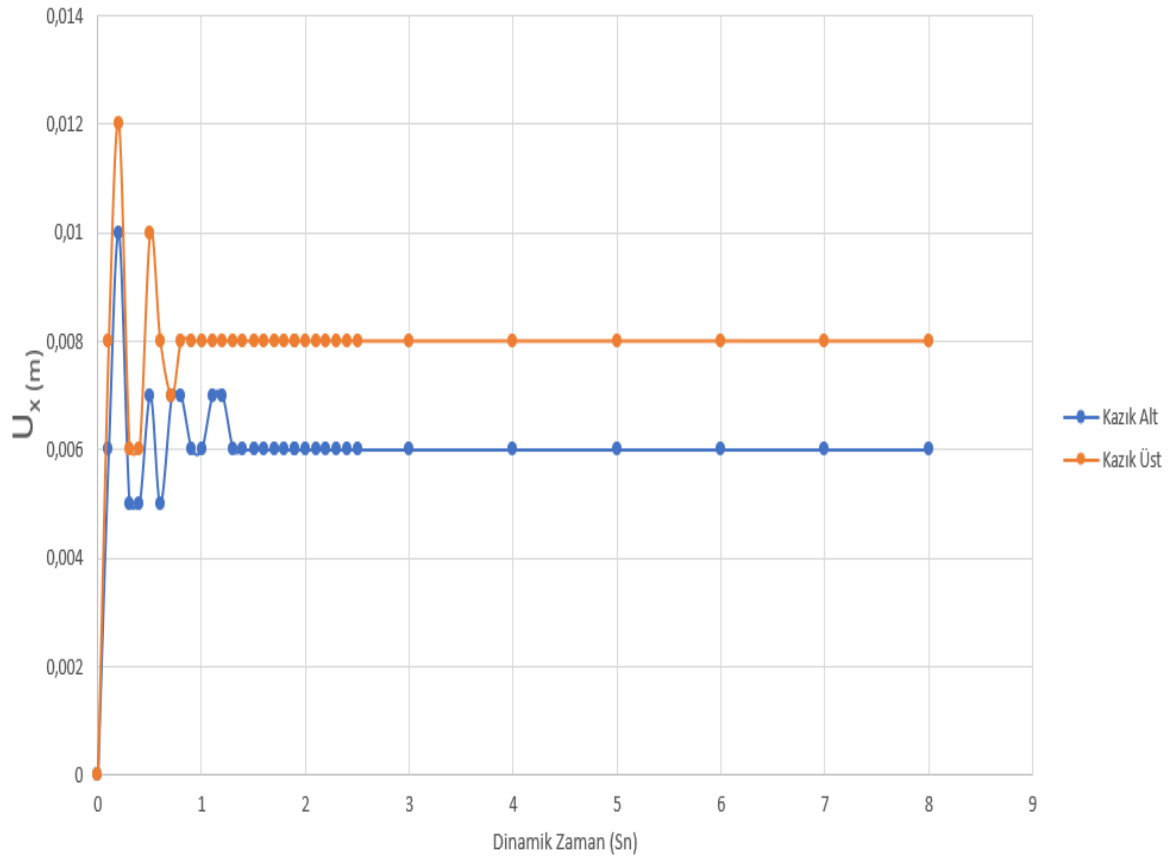
Bina ağırlığı	107800 kN
Kazık normal kuvveti	55906,6 kN
Kazık yük paylaşım oranı	%51,86
Radyenin yük paylaşım oranı	%48,14

Uç kazığın statik durumda yük paylaşım oranlarına baktıktan sonra dinamik duruma geçiliyor.

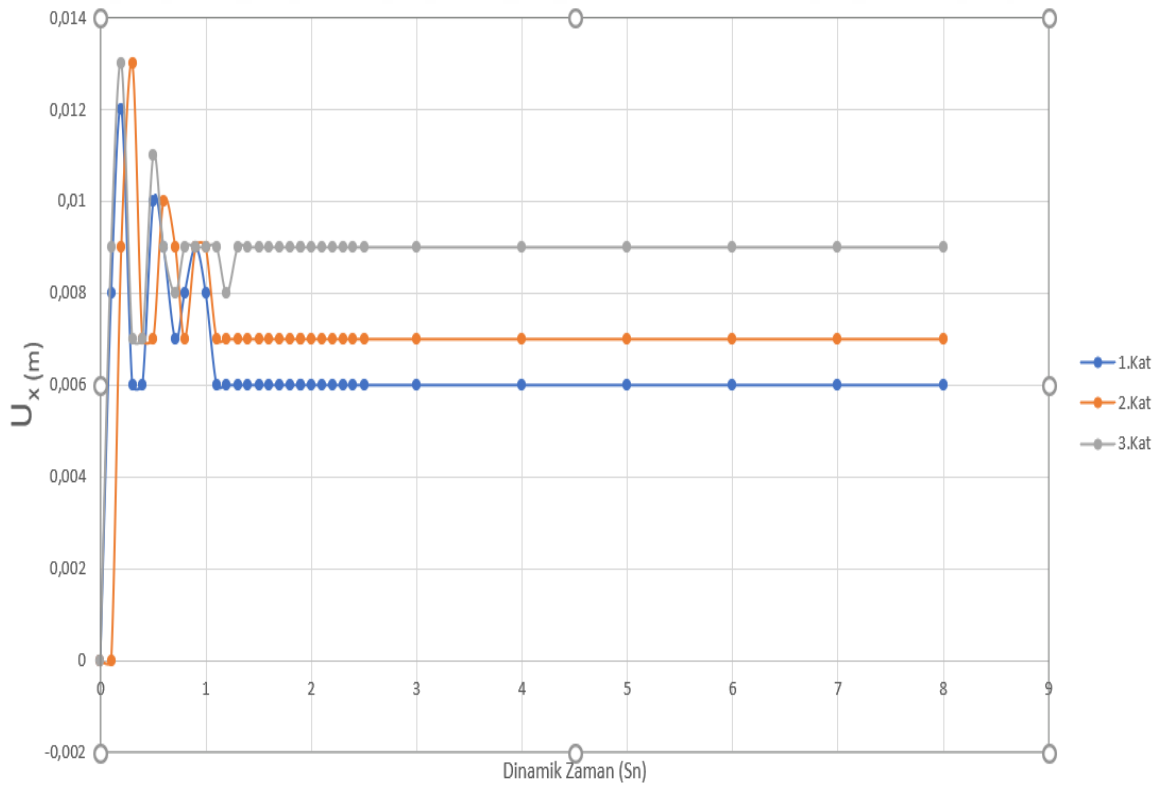
3.2.4. Faz-2 Dinamik Etkisi Altında İnceleme

Dinamik durumu ele aldığımızda 8 saniyelik bir deprem etki etmiştir. Bu deprem sonunca belirlediğimiz kazık alt ve üst noktası, 1., 2., 3., 4., 5., 6. Kattaki belirlediğimiz noktaların yaptığı deplasmanlar, ivmeleri, kesme kuvvetleri ve dinamik analizde kazıkların yük paylaşım durumları incelenmiştir.

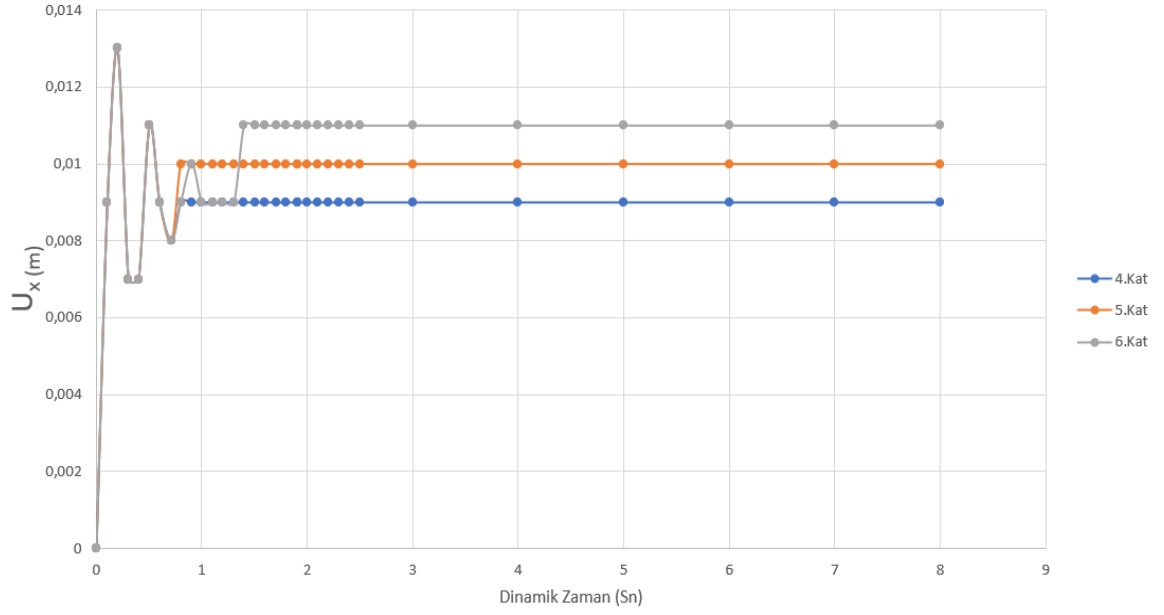
Daha önceden belirlediğimiz noktalardaki dinamik zamanda oluşan deplasman bakıldı. Kazık alt ve üst deplasmanları bakıldığında kazığın üst kısmında daha fazla deplasmanlar olduğu görülmektedir (Şekil 3.9). Her kattan belirlediğimiz noktalarda ise deplasmanlar birbirine çok yakındır ama en üstteki kattan en alttaki kata kadar deplasmanlar azalarak devam etmektedir (Şekil 3.10 ve 3.11)



Şekil 3. 9. Kazık alt ve üst noktası deformasyon

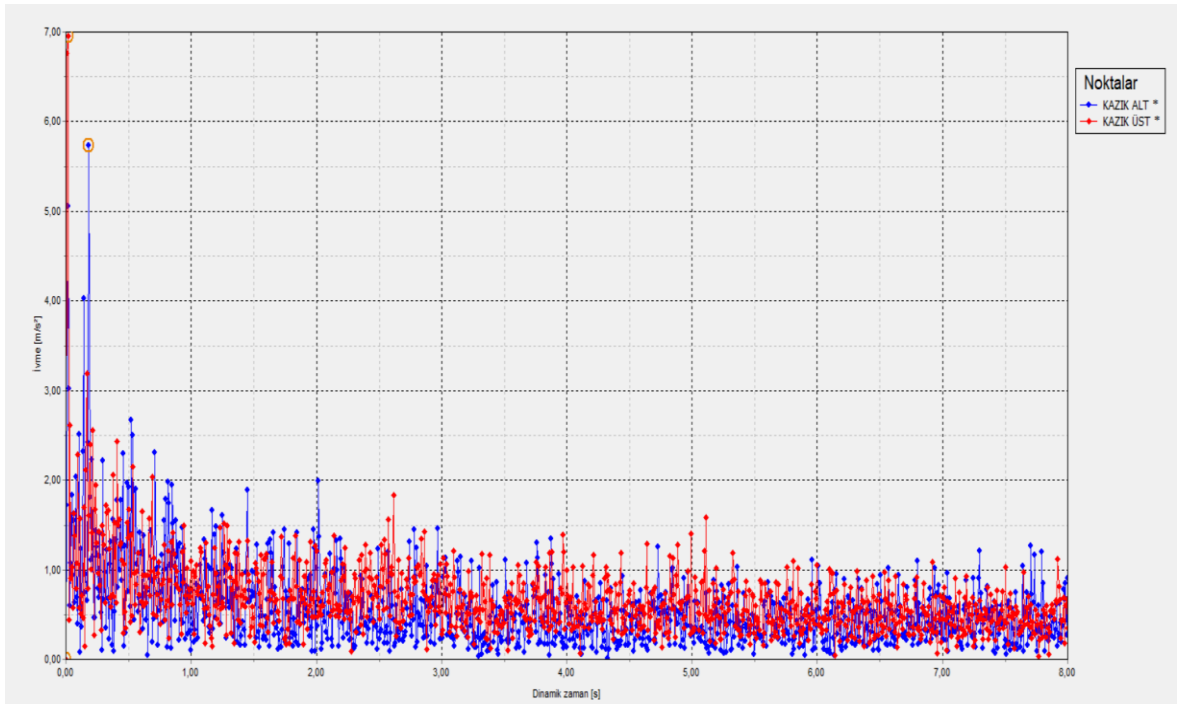


Şekil 3. 10. 1-2-3.kat deformasyonu

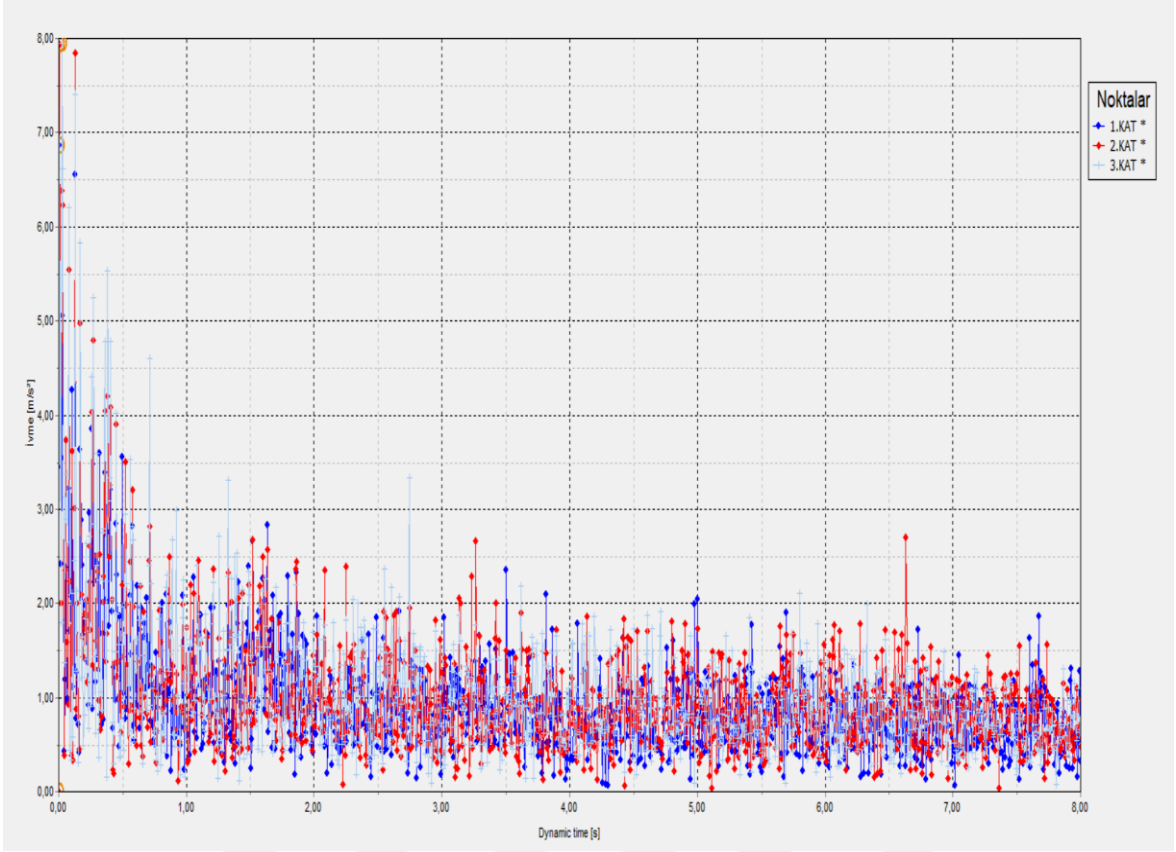


Şekil 3. 11. 4-5-6. kat deformasyonu

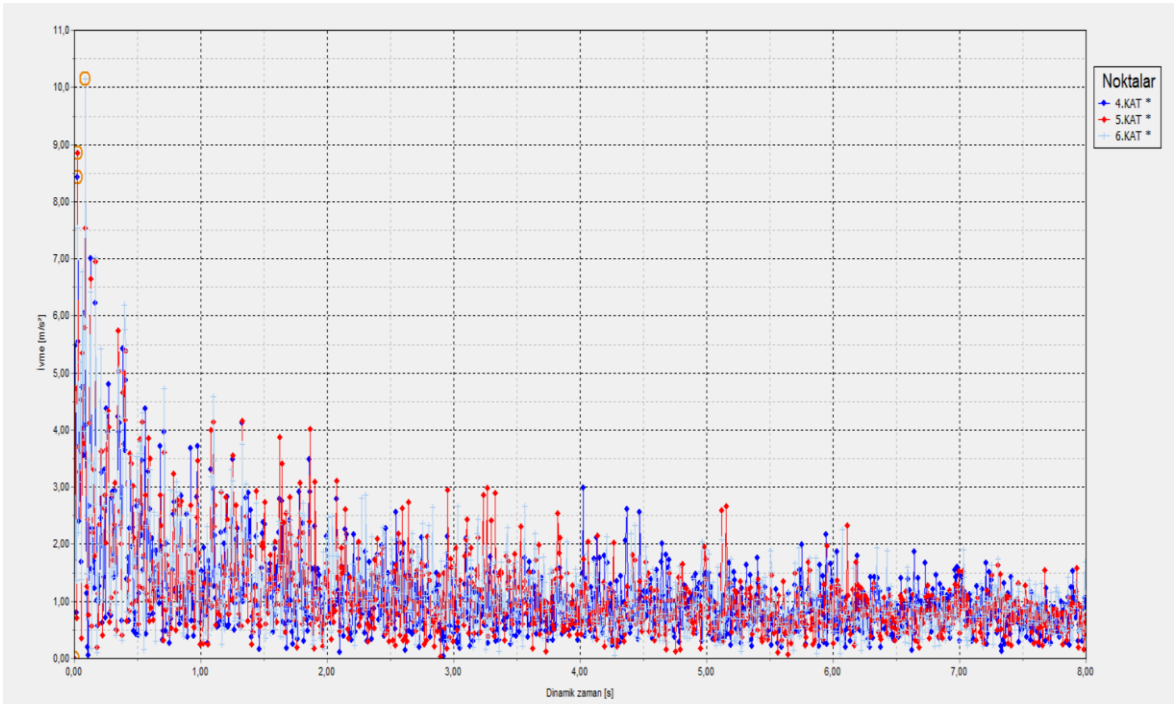
Belirlenen noktaların ivmelenme kısmına bakıldığında kazığın üst noktasına gelen ivmenin kazığın alt noktasına gelen ivmeden fazla olduğu görülmektedir (Şekil 3.12). Diğer belirlenen 1., 2., 3., 4., 5., 6. Kattaki noktalarda kat sayısı arttıkça ivmenin de arttığı ilerleyen dinamik sürelerde bazen birbirleri arasında gelen ivmenin büyüklük küçüklük arasında farklar olduğu görülmektedir (Şekil 3.13 ve 3.14).



Şekil 3. 12. Kazık alt ve üst noktası ivme

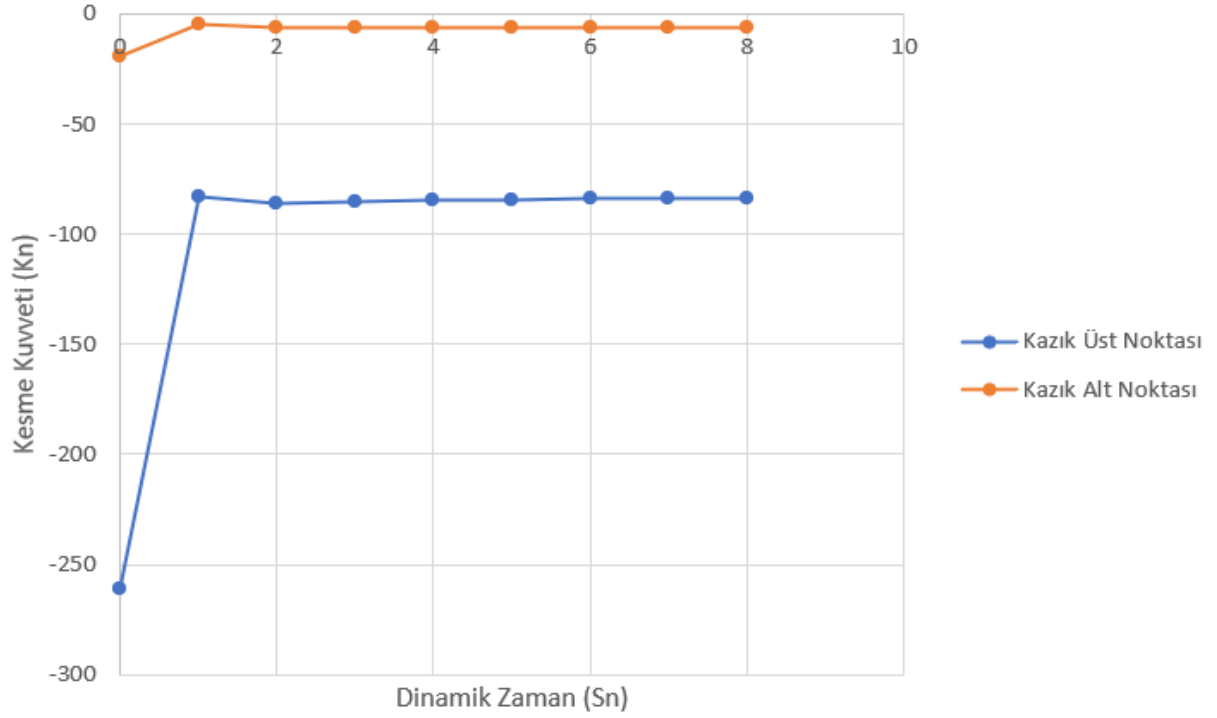


Şekil 3. 13. 1-2-3. kattaki ivme

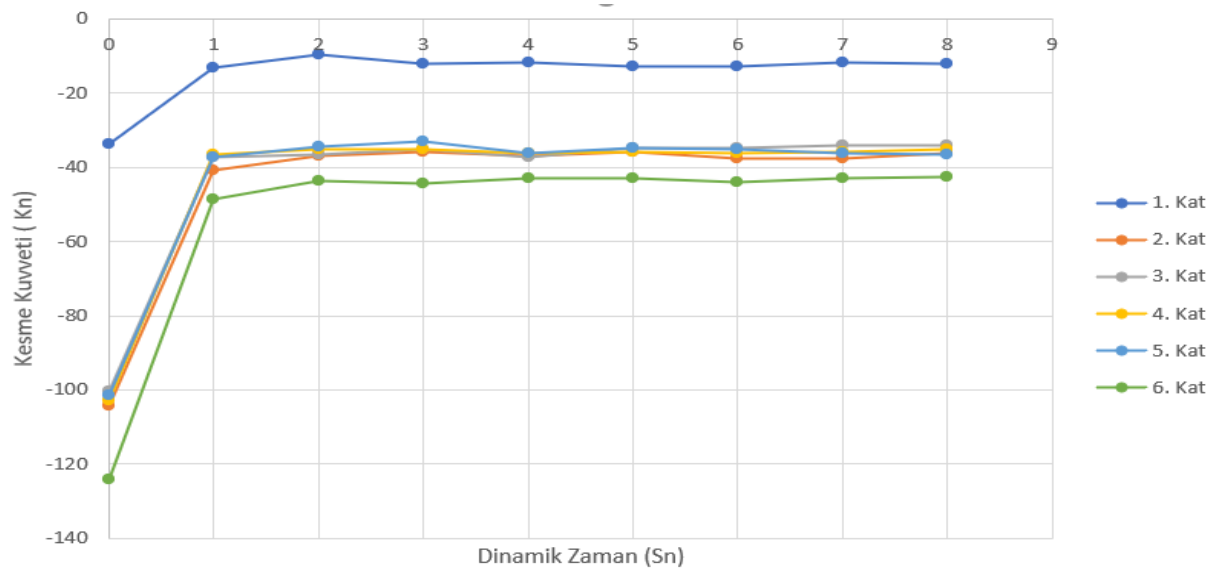


Şekil 3. 14. 4-5-6. kattaki ivme

Kazığın alt ve üst noktadaki kesme kuvvetlerine bakılmış burada kazığın alt noktasında kesme kuvveti az üst noktasında kesme kuvveti daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil3.15). Katlardaki duruma bakıldığında ise kat sayısı arttıkça artış olduğu dinamik süre ilerledikçe azda olsa artmalar bazen de küçükte olsa azalmalar olduğu görülmüştür (Şekil3.16).



Şekil 3. 15. Kazık alt ve üst noktası kesme kuvveti



Şekil 3. 16. 1-2-3-4-5-6. kat kesme kuvveti

Faz-2 etkisinde dinamik zamanda yük paylaşım oranlarına bakılacaktır. Yük paylaşım oranları hesaplanırken dinamik zaman 8 saniye 8 bölümde saniyelik hareketinde her kazık için normal kuvvetlerine bakılacaktır (Tablo 3.14). Toplam normal kuvvetleri bulunduktan sonra binanın en alt kolonunun kolon uç etkisindeki normal kuvvetlerini saniyelik zamanda alınarak temel yükü de ilave edildikten sonra binanın dinamik durumda ağırlığı bulunmuş olmaktadır. Dinamik zamandan kazıkların normal kuvvetlerini yine dinamik zamandan kolon uç etkileri ile temel ağırlığını toplayıp böldüğümüzde kazık yük paylaşım oranlarını bulunmaktadır.

Tablo 3. 14. Uç kazıkta dinamik zamanda kazıkların normal kuvvetleri

No/Sn	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1214	1229	1233	1233	1235	1235	1236	1236
2	1737	1759	1762	1762	1762	1762	1763	1763
3	2372	2402	2406	2408	2408	2408	2409	2409
4	1944	1967	1967	1968	1968	1968	1969	1970
5	1701	1726	1727	1728	1729	1730	1731	1731
6	1377	1394	1396	1396	1398	1397	1398	1398
7	1541	1559	1561	1562	1562	1563	1563	1564
8	1855	1872	1873	1873	1874	1875	1875	1875
9	1982	2006	2009	2010	2010	2010	2010	2010
10	1862	1860	1852	1851	1849	1849	1850	1849
11	1694	1715	1713	1714	1715	1715	1715	1715
12	1209	1223	1227	1229	1229	1229	1229	1230
13	1977	1995	1998	2000	2001	2002	2002	2003
14	1333	1321	1315	1313	1314	1314	1314	1314
15	1771	1767	1762	1757	1755	1754	1755	1755
16	1557	1557	1557	1553	1553	1553	1553	1553

Tablo 3. 14 'ün devamı

17	1622	1633	1631	1632	1632	1633	1633	1632
18	1647	1664	1668	1670	1670	1670	1670	1671
19	1808	1831	1832	1833	1834	1834	1835	1836
20	1673	1668	1661	1658	1658	1658	1658	1658
21	1771	1767	1736	1735	1735	1733	1733	1733
22	1854	1848	1843	1839	1838	1837	1837	1837
23	1510	1512	1504	1501	1500	1499	1500	1500
24	1686	1704	1708	1710	1711	1711	1711	1713
25	1633	1648	1651	1653	1653	1653	1653	1653
26	1467	1487	1488	1490	1491	1490	1491	1491
27	1875	1872	1865	1861	1861	1860	1860	1860
28	1981	1977	1971	1969	1968	1968	1967	1967
29	1575	1600	1603	1605	1606	1607	1608	1608
30	1383	1397	1400	1401	1402	1402	1402	1402
31	1293	1311	1313	1313	1314	1314	1315	1315
32	1779	1806	1810	1811	1811	1812	1813	1814
33	2076	2104	2107	2110	2112	2112	2112	2112
34	2295	2296	2292	2290	2289	2289	2290	2290
35	1498	1525	1529	1531	1531	1532	1532	1533
36	1315	1333	1336	1338	1338	1338	1339	1339
Toplam	60867 kN	61335 kN	61306 kN	61307 kN	59505 kN	61316 kN	61331 kN	61339 kN

Kolonlara gelen uç kuvvetler ise aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.15).

Tablo 3. 15. Uç kazıkta dinamik zamanda kolonların uç kuvvetleri (kN)

No / Sn	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1546	1556	1555	1559	1559	1557	1560	1559
2	2218	2220	2220	2220	2218	2220	2223	2220
3	2472	2473	2477	2475	2476	2471	2475	2474
4	2280	2281	2283	2290	2287	2287	2287	2285
5	2072	2061	2060	2060	2059	2057	2063	2060
6	1660	1650	1649	1652	1652	1647	1647	1647
7	1953	1948	1951	1950	1947	1947	1944	1948
8	2819	2824	2820	2814	2814	2814	2816	2820
9	2858	2874	2874	2871	2873	2873	2877	2874
10	2792	2780	2779	2782	2779	2776	2779	2777
11	2770	2771	2766	2767	2767	2772	2770	2772
12	1815	1806	1804	1812	1812	1811	1809	1811
13	1835	1822	1826	1829	1827	1824	1824	1824
14	2484	2484	2483	2479	2478	2478	2476	2478
15	2463	2474	2477	2480	2483	2481	2480	2477
16	2369	2382	2384	2382	2387	2388	2391	2388
17	2435	2438	2438	2504	2504	2511	2513	2516
18	1893	1890	1895	1900	1900	1900	1897	1901
19	1795	1793	1802	1801	1798	1801	1799	1796
20	2577	2585	2580	2563	2564	2567	2566	2568
21	2400	2403	2400	2405	2409	2404	2405	2402
22	2575	2595	2596	2611	2609	2611	2610	2611
23	2435	2438	2438	2434	2433	2435	2437	2437

Tablo 3. 15 'in devamı

24	1887	1880	1878	1879	1881	1880	1880	1882
25	1811	1797	1792	1800	1797	1803	1802	1803
26	2775	2770	2770	2773	2773	2781	2781	2781
27	2730	2742	2739	2741	2740	2739	2742	2744
28	2854	2845	2855	2863	2859	2858	2860	2860
29	2771	2749	2755	2750	2748	2750	2752	2754
30	1936	1920	1922	1923	1923	1922	1919	1920
31	1599	1588	1592	1591	1593	1591	1591	1589
32	2106	2098	2106	2105	2099	2105	2106	2105
33	2343	2343	2349	2357	2357	2355	2353	2352
34	2395	2392	2387	2383	2381	2381	2383	2383
35	2080	2072	2076	2079	2078	2076	2082	2081
36	1642	1649	1658	1662	1664	1661	1658	1657
Toplam	81445 kN	81393 kN	81436 kN	81546 kN	81526 kN	81537 kN	81554 kN	81556 kN
Temel + kolon	98995 kN	98943 kN	98986 kN	99096 kN	99076 kN	99087 kN	99104 kN	99106 kN

Tablo 3. 16. Uç kazıkta dinamik zamanda yük paylaşım oranları

Süre	1	2	3	4	5	6	7	8
Temel + kolon ağırlığı	98995 kN	98943 kN	98986 kN	99096 kN	99076 kN	99087 kN	99104 kN	99106 kN
Kazık normal kuvveti	60867 kN	61335 kN	61306 kN	61307 kN	59505 kN	61316 kN	61331 kN	61339 kN
Kazık yük paylaşım oranı	61,48	61,99	61,93	61,86	60,06	61,88	61,88	61,89
Radyenin yük paylaşım oranı	38,52	38,01	38,07	38,14	39,94	38,12	38,12	38,11

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, okul amacıyla kullanılacak olan betonarme üst yapının yüzen ve uç kazık modelinde statik ve dinamik durumdaki kazık ve radyenin yük paylaşım oranı, deformasyonu, kesme kuvveti ve ivmesi incelenmiştir.

- Kazıkların dinamik durumda belirlenen noktalar bakıldığında yüzen kazık için kazığın alt noktasındaki deformasyon maksimum 2.3 cm iken kazığın üst noktasında ise 2.5 cm'dir. Uç kazık için bakıldığında kazığın üst noktasında maksimum 1.2 cm, kazığın alt noktasında ise 1 cm'dir. Bunun sebebi kazığın deprem anında kesme kuvvetlerinin en fazla aldığı yer olarak kazığın üst noktasıdır. Bundan dolayı her iki durumda da kazığın üst noktaları deformasyonu daha fazladır.
- Deprem anındaki kesme kuvvetlerine bakıldığında kazıkların alt noktalarında küçük kesme kuvvetleri olduğu, kazıkların üst noktalarında ise daha büyük kesme kuvvetleri olduğu her iki durumda da görülmektedir.
- Katlardaki kesme kuvvetlerine bakıldığında ise kazık noktaları hariç birbirine 1.kat dışında yakın olduğu kat sıralamasına göre en fazla kesme kuvvetinin 6. katta olduğu gözlenmiştir.

Kazıkların yük paylaşım oranları 2 farklı durumda incelenmiştir. Bu tip ve durumlar; birincisi kazığın soketlenme durumu, ikincisi ise yapının etkisi altında kaldığı yük göre incelenmiştir.

- Statik durumda yüzen kazıklar için kazıkların taşıdığı yük paylaşım oranı %27,00 ve radyenin taşıdığı yük paylaşım oranı ise %73'dür. Aynı sistemin dinamik durumda analizi yapıp yük paylaşım oranlarına bakıldığında ise kazıkların taşıdığı yük paylaşım oranı saniyelik olarak 8 bölümde incelenmiş ve ortalama olarak %34,14 olarak bulunmuştur, radyenin ise ortalama olarak yük paylaşım oranı %86,86'dır.
- Uç kazıkları için bakıldığında ise statik durumda kazıkların yük paylaşım oranı %51,79 ve radyenin taşıdığı yük paylaşım oranı ise %48,21 olarak bulunmuştur. Dinamik durumda saniyelik bölümde incelendiğinde kazıkların yük paylaşım oranları ortalama olarak %61,75, radyenin ise ortalama olarak yük paylaşım

oranları %34,6 olarak görülmektedir. Her iki durumda da dinamik zamanda yük paylaşım oranları incelendiğinde kazıkları taşıdığı yüklerin arttığı görülmektedir.

- Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde, kum zeminde inşa edilen uç veya yüzen kazıklı radye temelin kazıklarının yük paylaşım oranlarının deprem durumunda statik durumda daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Statik durumda, sağlam kayaya söketli uç kazıklarının yük paylaşım oranlarının yüzen kazıkların yük paylaşım oranlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer durum, dinamik durum içinde geçerlidir. Yani dinamik durumda da uç kazıklarının yük paylaşım oranları daha yüzen kazıklara göre daha yüksek elde edilmiştir.



5. KAYNAKLAR

- Ateş, B. 2019. Kum Zemindeki Kazıklı Radye Temellerin Davranışlarının Deneysel ve Nümerik Yöntemlerle Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 5-7.
- ASCE 7-10 (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- Birk, C. ve Ruge, P., 2006. A Symmetric Time-Domain Model for 3D Dam-Reservoir Interaction Including Radiation Damping, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36, 661-682.
- Bazyar, M., H. ve Song, C., 2006. Transient Analysis of Wave Propagation in NonHomogeneous Elastic Unbounded Domains by Using the Scaled Boundary Finite-Element Method, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 1787-1806.
- Bouaanani, N. ve Miquel, B., 2009. A New Formulation and Error Analysis for Vibrating Dam-Reservoir with Upstream Transmitting Boundary Conditions, Journal of Sound and Vibration, 329, 1924-1953.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Chow. H. S. W. ve Small. J. C., 2005. Behaviour of piled rafts with piles of different lengths and diameters under vertical loading. *Advances in Deep Foundations*. Doi 10.1061/40778(157)20 1-15
- Clouteau, D., Broc, D., Devesa, G., Guyonvarh, V. ve Massin, P., 2011. Calculation Methods of Structure-Soil-Structure Interaction (3SI) for Embedded Buildings: Application to NUPEC tests, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 32, 129-142.
- Du, X., Zhang, Y., Zhang, B., 2006. Nonlinear Seismic Response Analysis of Arch Dam Foundation Systems-Part I Dam-Foundation Rock Interaction, Bull Earthquake Engineering, 5, 105-119.
- Eiby, G. 1980, 1981. Earthquakes. Heinemann, Auckland, 209 p
- Erdemir, N., ve Okur. V., 2011. Kazık Gruplarının Sismik Etki Altındaki Performansı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, No.1, 91-107.
- Erdil, E. 2013. Yapı-Zemin Etkileşiminin Antalya İl Ölçeğinde Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 3-13.

- Fattah, M., Y., Schanz, T. ve Dawood, S., H., 2012. The Role of Transmitting Boundaries in Modeling Dynamic Soil-Structure Interaction Problems, International Journal of Engineering and Technology, 2, 2, 236-258.
- Gök. S. ve Toğrol. E., 2009. Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabı, İtü Mühendislik Dergisi, 8, 5, 149-156.
- Hartmann. F. ve Jahn. P., 2001. Boundary element analysis of raft foundations on piles, Meccanica, 36, 351-366.
- Liang. F.Y., Chen. L.Z. ve Shi. X.G., 2003. Numerical analysis of composite piled raft with cushion subjected to vertical load, Computers and Geotechnics, 30, 443-453.
- Liang. F., Chen. L. ve Han. J., 2009, Integral equation method for analysis of piled rafts with dissimilar piles under vertical loading, Computers and Geotechnics, 36, 419-426.
- Lysmer, J., Kuhlemeyer, R. ve L., 1969. Finite Dynamic Model for Infinite Media, Journal of the Engineering Mechanics Division, 95, 859-877.
- Lysmer, J. ve Drake, L., 1972. A Finite Element Method for Seismology, Methods in Computational Physics, 2, 181-216.
- Nakamura, N., 2008. Seismic Response Analysis of Deeply Embedded Nuclear Reactor Buildings Considering Frequency-Dependent Soil Empedance in Time Domain, Nuclear Engineering and Design, 238, 1845-1854.
- Omeman, Z.M., 2012. Load sharing of piled-raft foundations in sand subjected to vertical loads, Doktora Tezi, Concordia University, Canada.
- Öztürk. K., 2008. Piled raft applications. Y.Lisans Tezi. Dokuz Eylül University, GraduateSchool of Natural Applied Sciences, İzmir.
- Poulos, H. G., 2001. Practical design of piled rafts in design applications of raft foundations, London, 127 – 155.
- Poulos. H.G., 2010. High-rise building foundations- a limit state design approach. Art of Foundation Engineering Practice Congress, Florida, 20-24.
- Reul. O. ve Randolph. M.F., 2004, Design strategies for piled raft subjected to nonuniform vertical loading, Journal of Geotech. Geoenviron. Eng., 130, 1, 1-13.
- Sesli, H., 2013. Zemin Sınır Şartlarının Yapı-Zemin Etkileşim Sistemlerinin Dinamik Davranışına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Soyal, L. 2006. Deprem Koşullarında Yapı-Zemin Etkileşimi ve Zemin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 51 s.

- Summer, 1960, Some basic misconceptions, *Social Problems*, 5. Quarantelli, Images of withdrawal behavior in disasters, vol. 8, pp. 68-79.
- Siyahi, B., Çetin, K.Ö., Bilge, T. Geoteknik Mühendisliği Açısından Zemin Yapı Etkileşimine Kritik Bir Bakış, 2017.
- Soares, D., Jr. ve Mansur, W., J., 2006. Dynamic Analysis of Fluid-Soil-Structure Interaction Problems by the Boundary Element Method, Journal of Computational Physics, 219, 498-512.
- Soyluk, K. ve Sıcacık, E., A., 2009. Zemin Sınırlarının Geçirgen Sınırlarla Modellendiği Kablolü Köprülerin Dinamik Analizi, Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu, Sakarya, S0703, 440-450.
- Şen, K., 2019. Demiryolu Köprülerinde Zemin-Yapı Etkileşimi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 5-9.
- Ta. L.D., Small. J.C., 1997. An approximation for analysis of raft and piled raft foundations, Computers and Geotechnics, 20, 2, 105-123.
- Terzaghi, K. ve Peck, R.B., 1968. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Edition, Wiley, New York.
- Tomlinson, M.J., 2004. *Pile design and construction practice*, Chapman and Hall, London, UK.
- URL-1, www.deprem.gov.tr/sarbis/Deprem/DepremNedir.aspx. 20 Mart 2013
- Uzuner. B.A., 2013. *Temel mühendisliğine giriş*. Derya Kitabevi. Trabzon
- Vu, A.ve Ark, 2014. 3D finite element analysis on behaviour of piled raft foundations, 4th International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials, China, 580-583.
- Watcharasawe, K., Kitiyodom, P. ve Jongpradist, P., 2015. Numerical Analyses of Piled Raft Foundation in Soft Soil Using 3D-FEM, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 46, 1, ISSN 0046-5828
- Yalçın, A. ve İncecik. M., 2010. Kazıklı yayılı temeller ile yayılı temellerin düşey ve yatay yükler altında davranışlarının karşılaştırılması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 13.Ulusal Kongresi*, 2, 635, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Zhong, H., Li, J. ve Chen, J., 2007. An Efficient Time-Domain Damping Solvent Extraction Algorithm and Its Application to Arch Dam-Foundation Interaction Analysis, Communications in Numerical Methods in Engineering, 24, 727-748.

ÖZGEÇMİŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans öğrenimini, onur öğrencisi olarak tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

