



**RADYE TEMEL TASARIMINDA YATAK KATSAYININ TEMEL DONATI
METRAJINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Abdullah Adnan KAHVECİ

**YÜKSEK LİSANS
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Abdullah Adnan KAHVECİ

18/01/2024

RADYE TEMEL TASARIMINDA YATAK KATSAYISININ TEMEL DONATI
METRAJINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdullah Adnan KAHVECİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2024

ÖZET

Binalar yüklerini temeller vasıtası ile zemine aktarmaktadırlar. Bina temeli olarak günümüzde yaygın olarak kullanılan temel sistemi radye temeldir. Tasarım hesapları yapılırken radye temeller nispeten esnek temel olarak değerlendirilmekte ve yük altında bir miktar deformasyon yapacakları kabul edilmektedir. Bu deformasyon neticesinde temellerin ne kadarlık bir eğilme momentine maruz kalacakları ise oturdukları zemine bağlıdır. Zeminin temel yükleri altındaki davranışı “yatak katsayısı” adı verilen bir parametre kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada, literatürde bulunan yatak katsayısı bağıntıları derlenmiş ve seçilen bir zemin için bu bağıntılarla yatak katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Yatak katsayısının hesaplanması için gerekli olan zemin parametreleri Ankara’nın Yenimahalle ilçesi Söğütözü mevkiinde gerçekleştirilen bir zemin etüdü kapsamında elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda seçilen zemin için farklı bağıntılarla hesaplanan yatak katsayısı değerlerinin 300 ile 20000 kN/m³ gibi oldukça geniş bir aralıkta değişebileceği gösterilmiştir. Bu değişimin radye temele etki eden eğilme momentlerine ve temele yerleştirilecek olan donatı metrajına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ideCAD paket programı (eğitim versiyonu) kullanılarak çok sayıda yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizlerde 9,7x17 m ebatlarında radye temel sistemine sahip 11 katlı bir konut projesi kullanılmıştır. Sonuç olarak yatak katsayısı değeri arttıkça temel donatı metrajının azaldığı ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Yatak katsayısı, radye temel tasarımı, temel donatı metrajı, radye temel

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Prof. Dr. Mustafa ÖZER

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SUBGRADE MODULUS ON THE
QUANTITIES OF THE FOUNDATION REINFORCEMENT IN MAT FOUNDATION
DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Abdullah Adnan KAHVECİ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2024

ABSTRACT

Buildings transfer their loads to the ground through foundations. Nowadays, the most used foundation system for buildings is the mat foundation. During the design calculations, mat foundations are considered relatively flexible and are assumed to undergo deformation under load. The amount of bending moment that the foundations will be exposed to because of this deformation depends on the ground they sit on. The behavior of the soil under foundation loads is attempted to be estimated using a parameter called the "subgrade reaction modulus". In this study, equations related to the subgrade reaction modulus found in the literature have been compiled, and using these equations, subgrade reaction modulus have been calculated for a selected soil. The soil parameters required for calculating the subgrade reaction modulus were obtained within the scope of a soil survey conducted in the Söğütözü region of Yenimahalle district in Ankara. It has been shown that the subgrade reaction modulus calculated with different equations for the selected soil can vary widely, ranging from 300 to 20000 kN/m³. The influence of this variation on the bending moments affecting the mat foundation and the quantity of reinforcement to be placed in the foundation have been investigated. For that purpose, numerous structural analyses were performed using ideCAD Statik software (educational version). A 11-storey residential project with a mat foundation system measuring 9.7x17 m was used in the structural analyses. As a result, it has been revealed that as the subgrade reaction modulus increases, the quantity of foundation reinforcement decreases.

Science Code : 91105

Key Words : Subgrade reaction modulus, mat foundation design, quantities of the foundation reinforcement, mat foundation

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa ÖZER

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimime başladığım günden yüksek lisans eğitimimin son gününe değin bilgisiyle ve tecrübesiyle desteğini her zaman arkamda hissettiğim çok kıymetli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Mustafa ÖZER'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ders aşamasında ve sonrasında bana katkı sağlayan değerli hocalarıma; idari işlerde anlayışını esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölüm İdaresi ve Fen Bilimleri Enstitüsü öğrenci işlerine; maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen ve her türlü fedakarlığı gözlerini kırpmadan yapan aileme bu teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. YATAK KATSAYISI YÖNTEMLERİ	3
2.1. Winkler (1868).....	3
2.2. Biot (1937)	3
2.3. Terzaghi (1955).....	3
2.4. Vesic (1962).....	4
2.5. Meyerhof ve Baiki (1963)	4
2.6. Scott (1981).....	4
2.7. Bowles (1996a)	5
2.8. Bowles (1996b)	7
2.9. Unutmaz ve Aygün (2019).....	8
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
4. MALZEME VE YÖNTEM	13
4.1. Malzeme.....	13
4.1.1. Elastisite modülü.....	13
4.1.2. Poisson oranı	14
4.1.3. İçsel sürtünme açısı	15

	Sayfa
4.1.4. Kohezyon	15
4.1.5. Bina projesi	16
4.1.6. Temel betonuna ait yapısal tasarım parametreleri	17
4.2. Yapısal Analizlerde Uygulanan Yöntem	18
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
5.1. Arazi Çalışmaları	21
5.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)	23
5.2. Laboratuvar Çalışmaları	23
5.2.1. Su muhtevası	24
5.2.2. Üç Eksenli basınç deneyi	24
5.2.3. Konsolidasyon deneyi	28
5.3. Yatak Katsayısının Hesaplanması	30
6. YAPISAL ANALİZLER	33
6.1. Yapıya Ait Bilgiler	33
6.2. Yapısal Model ve Analiz	33
6.3. Analiz Ayarları	35
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
7.1. Temelde Oluşan Momentler	43
7.2. Donatı Alanı Hesabı	64
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bowles (1996) tarafından önerilen yatak katsayıları	8
Çizelge 4.1. Zeminlerin Poisson oranı için önerilen tipik değerler	15
Çizelge 4.2. Genel zemin tipine göre önerilen tipik Poisson oranı değerleri	15
Çizelge 5.1. SK-2 nolu sondaj kuyusunda gerçekleştirilen SPT sonuçları.....	23
Çizelge 5.2. Su muhtevası deney sonuçları	24
Çizelge 5.3. Üç eksenli basınç deneyinden elde edilen sonuçlar.....	26
Çizelge 5.4. Konsolidasyon deney numuneleri üzerinde yapılan ölçümler.....	29
Çizelge 5.5. Konsolidasyon deneyi verileri kullanılarak hesaplanan zemin parametreleri.....	30
Çizelge 5.6. Zemine ve radye temele ait parametreler.....	31
Çizelge 5.7. Zeminin elastisite modülü değerleri	31
Çizelge 5.8. Çeşitli yöntemlerle hesaplanan zemin yatak katsayıları	32
Çizelge 7.1. Üniform Winkler Yay Yöntemi ile hesaplanmış temelde oluşan momentler ve minimum donatı alanları.....	65
Çizelge 7.2. Çoklu Eşlenik Winkler Yöntemi ile hesaplanmış temelde oluşan momentler ve minimum donatı alanları.....	66
Çizelge 7.3. Analizler doğrultusunda hesaplanan demir donatı metrajı	72
Çizelge 7.4. Analizler doğrultusunda hesaplanan demir donatı metrajı, (<i>W</i>) ile <i>işaretli olan yatak katsayıları hesabında çoklu eşlenik Winkler yay yöntemi kullanılmıştır.</i>	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. $\nu_s = 0,4$ için Fox (1948) tarafından önerilen I_F katsayıları (değerler FFACTOR isimli yazılımla hesaplanmıştır).	7
Şekil 4.1. Gerilme – birim deformasyon grafiği üzerinden elastisite modülünün belirlenmesi	14
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan binanın mimari kat planı.	16
Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan binanın statik proje kalıp planı.....	17
Şekil 5.1. Üç eksenli basınç deneyinde; a) 50 kPa, b) 100 kPa, c) 150 kPa hücre basıncı altına yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar	27
Şekil 5.2. 3 eksenli basınç (UU) deneyinden elde edilen Mohr – Coulomb yenilme zarfı.....	28
Şekil 5.3. Konsolidasyon deneylerinden elde edilen $e - \log P$ grafikleri	29
Şekil 7.1. 1 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	44
Şekil 7.2. 1 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	45
Şekil 7.3. 2 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	46
Şekil 7.4. 2 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	47
Şekil 7.5. 3 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	48
Şekil 7.6. 3 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	49
Şekil 7.7. 4 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	50
Şekil 7.8. 4 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	51
Şekil 7.9. 5 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	52
Şekil 7.10. 5 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	53

Şekil	Sayfa
Şekil 7.11. 6 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	54
Şekil 7.12. 6 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	55
Şekil 7.13. 7 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	56
Şekil 7.14. 7 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	57
Şekil 7.15. 8 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	58
Şekil 7.16. 8 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	59
Şekil 7.17. 9 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	60
Şekil 7.18. 9 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	61
Şekil 7.19. 10 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları.....	62
Şekil 7.20. 10 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları	63
Şekil 7.21. Üniform Winkler yöntemi ile hesaplanmış X eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri.....	68
Şekil 7.22. Çoklu Eşlenik Winkler Yay yöntemi ile hesaplanmış X eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri	69
Şekil 7.23. Üniform Winkler yöntemi ile hesaplanmış Y eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri.....	70
Şekil 7.24. Çoklu Eşlenik Winkler Yay yöntemi ile hesaplanmış X eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri	71
Şekil 7.25. Donatı metrajı – zemin yatak katsayısı grafiği	73

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Çoklu eşlenik Winkler yay yöntemi ve katsayıları (ideCAD paket programından bir ekran görüntüsü).....	18
Resim 4.2. (a) Kil üzerinde esnek temel, (b) kum üzerinde esnek temel, Coduto (2001).....	19
Resim 5.1. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından bir görüntü.....	21
Resim 5.2. İnceleme alanında açılan SK-2 sondaj kuyusuna ait sondaj logu.....	22
Resim 5.3. (a) Araziden getirilen UD tüpü (b) UD tüpünün parafinle kapatılmış hali (c) Numunenin UD tüpünden çıkartılması (d) ve (e) UD tüpünden 38 mm çapındaki tüple alınmış numune (f) 38 mm çapındaki tüpten çıkartılmış UD numunesi	25
Resim 5.4. (a) Üç eksenli basınç deney aleti (b) Hücre basıncı (c) Zemin numunesinin deney sonunda yenilmiş-kırılmış şekli	25
Resim 6.1. Modellenen yapının 3 boyutlu görüntüsü	34
Resim 6.2. Temele etkiyen (a) M11 ve (b) M22 yönündeki moment dağılımları	38
Resim 6.3. M11 ve M22 yönlü momentlerin	39
Resim 6.4. M11 (a) ve M22 (b) yönünde seçilen hesap aksları.....	40
Resim 6.5. Çoklu eşlenik Winkler yöntemi kullanılarak hesaplanan (a) M11 ve (b) M22 yönündeki moment diyagramları.....	40
Resim 7.1. Temelde kullanılan hesap akslarının konumları	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

a	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği
A_s	Minimum donatı alanı
B	Temelin kısa kenarı
B'	Temelin kısa kenarının yarısı
b_c	Temel taban eğimi düzeltme katsayısı
b_γ	Temel taban eğimi düzeltme katsayısı
b_q	Temel taban eğimi düzeltme katsayısı
c	Zeminin kohezyon değeri
C_c	Sıkışma indisi
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
d	Faydalı yükseklik
d_c	Temel derinliği düzeltme katsayısı
D_f	Temel derinliği
d_γ	Temel derinliği düzeltme katsayısı
d_q	Temel derinliği düzeltme katsayısı
E_b	Temelin elastisite modülü
E_i	Başlangıç elastisite modülü
E_s	Zeminin elastisite modülü
ε	Birim deformasyon
f_c	Betonun basınç dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
F_{yd}	Çeliğin tasarım çekme dayanımı
ϕ	Zeminin içsel sürtünme açısı
g_c	Zemin eğimi düzeltme katsayısı
g_γ	Zemin eğimi düzeltme katsayısı

Simgeler**Açıklamalar**

g_q	Zemin eğimi düzeltme katsayısı
γ_n	Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
H	Temelin etki derinliği
$I_{1,2}$	Steinbrenner katsayıları
I_b	Temelin atalet momenti
I_F	Derinlik faktörü
I_s	Şekil faktörü
i_c	Yükleme eğikliği düzeltme katsayısı
i_γ	Yükleme eğikliği düzeltme katsayısı
i_q	Yükleme eğikliği düzeltme katsayısı
k_s	Zemin yatak katsayısı
$k_{0,3}$	0,3 m $\times$ 0,3 m plaka ile elde edilen yatak katsayısı
$k_{B \times B}$	B $\times$ B boyutlarındaki temel için yatak katsayısı
L	Temelin uzun kenarı
L'	Temelin uzun kenarının yarısı
m	Oturmanın hesaplanacağı noktada birleşen köşe sayısı
M_d	Tasarım momenti
m_v	Hacimsel sıkışma modülü
N_{60}	%60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT- N değeri
N_c	Taşıma gücü katsayısı
N_γ	Taşıma gücü katsayısı
N_q	Taşıma gücü katsayısı
ν_s	Zeminin Poisson oranı
I	Bina önem katsayısı
$I_{1,2}$	Steinbrenner katsayıları
I_b	Temelin atalet momenti
I_s	Şekil faktörü
I_F	Derinlik faktörü
q	Basınç
q_u	Zeminin nihai taşıma gücü
q_t	Zemin taşıma gücü

Simgeler**Açıklamalar**

R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
S_c	Temel şekli düzeltme katsayısı
S_γ	Temel şekli düzeltme katsayısı
S_q	Temel şekli düzeltme katsayısı
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S₁	1,0 saniye periyot için harita ivme spektral katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1,0 saniye periyot için tasarım ivme spektral katsayısı
δ	Yer değiştirme
σ	Gerilme
σ_d	Deviatörük gerilme
T	Temel yüksekliği

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DD – 2	Deprem Yer Hareket Düzeyi – 2
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
SPT	Standart Penetrasyon Testi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UD	Örselenmemiş
UU	Konsolidasyonsuz – drenajsız

1. GİRİŞ

Bina türü yapılar yüklerini temeller vasıtası ile zemine aktarırlar. Bu tür yapılarda yapı yüklerini zemine aktarmak için tekil temel, radye temel veya şerit temel sistemi uygulanabilmektedir. Farklı oturma gibi bazı sorunlar nedeniyle günümüzde tekil temel uygulaması neredeyse terk edilmiş olup bina türü yapılarda genellikle radye temel uygulaması tercih edilmektedir. Sağlam zemin tabakasının derinde olduğu durumlarda ise radye temel ile birlikte kazıklı temel uygulaması da yapılabilmektedir.

Temeller yapı ile zemin arasında bulunan bir yapı elemanı olduğu için üst yapı mühendisi ile geoteknik mühendisinin ortaklaşa veya en azından koordineli çalışması ile tasarlanması gerekmektedir. Zira temelin derinliği, boyutları, taşıma gücü ve konsolidasyon oturması gibi değişkenler geoteknik hesaplarının sonucunda; temelin kalınlığı, kesme dayanımı ve donatılandırması ise yapısal analiz hesaplarının sonucunda belirlenmektedir.

Tasarım hesapları yapılırken radye temellerin ebatları tekil temellere kıyasla büyük olduğundan nispeten esnek temel olarak değerlendirilmekte ve yük altında bir miktar deformasyon yapacakları kabul edilmektedir. Temellerin ne kadar deformasyon yapacakları ise oturdukları zemine bağlıdır. Zeminlerin temel yüklerinin etkisinde ne kadar deformasyon yapacakları ise “zemin yatak katsayısı” adı verilen bir parametre ile temsil edilmektedir. Yatak katsayısı terimi ilk kez 1868 yılında Winkler tarafından ortaya atılmış olup, yükün deformasyona oranı ($k_s = q/\delta$) olarak tarif edilmiştir. Başka bir ifadeyle yatak katsayısı temel vasıtasıyla zemine uygulanan basıncın zeminde meydana gelen yer değişimine oranıdır. Yatak katsayısı sayesinde zemin adeta yaylarla temsil edilmektedir. Zemin yatak katsayısı k_s ile gösterilir ve birimi genellikle kN/m^3 ’tür. Yatak katsayısı kavramı İngilizce kaynaklarda *coefficient of subgrade reaction* veya *subgrade modulus* olarak isimlendirilmiştir. Bu terim Türkçe’ye “*yatak katsayısı*” olarak çevrilmiş ve günümüze değin bu şekilde kullanılagelmıştır. Bu çalışmada da “yatak katsayısı” terimi kullanılacak ve k_s ile gösterilecektir.

Yapısal analizlerde yatak katsayısı, temele etki eden momentlerin bulunmasında ve dolayısıyla temele yerleştirilecek olan donatıların hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Winkler'in kabulü ilk olarak demiryollarında gerilme ve deformasyonların analizinde kullanılmıştır. Daha sonra Zimmermann (1888) tarafından balast üzerine oturan demiryolu traverslerindeki gerilmelerin hesaplanması amacıyla kullanılmıştır. Demiryolu hattının genişliği nispeten az olduğu için, yüklemekten kaynaklanan etki derinliği de radye temellere kıyasla sığ olmaktadır. Bu nedenle demiryolu tasarımında gerekli olan yatak katsayısının bulunmasında plaka yükleme deneyi genellikle yeterli olmaktadır. Ancak radye temellerin etki derinliği çok daha yüksek olduğundan ve zemin özellikleri yatay ve düşey doğrultuda kısa mesafelerde değişiklik gösterebildiğinden radye temel tasarımında kullanılacak yatak katsayısının bulunmasında plaka yükleme deneyi yetersiz kalmaktadır. Ne yazık ki bugüne kadar radye temellerin etki derinliğini kapsayacak şekilde yatak katsayısının doğrudan bulunmasına yönelik arazi veya laboratuvar deneyi de geliştirilememiştir. Bu nedenle 1937'den günümüze değin yatak katsayısının korelasyonlarla veya çeşitli yaklaşımlarla dolaylı olarak bulunmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmış ve bağlantı geliştirilmiştir.

Geoteknik literatürü incelendiğinde korelasyon ilişkileriyle veya tablo değerleriyle bulunan yatak katsayısı değerlerinin çok geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Bu çalışmada, bu kadar geniş bir aralıkta değişen yatak katsayısının radye temellerde donatı metrajına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Ankara'nın Yenimahalle ilçesi Söğütözü mevkiinde bulunan bir araziye radye temel sistemiyle inşa edilecek 165 m² oturum alanına sahip tek daireli bir konut tipi bir bina ele alınmıştır. Yatak katsayısının bulunmasına yönelik zemin arazi verileri HENDESE Jeoteknik firması tarafından gerçekleştirilen zemin etüt çalışmalarının sonucunda elde edilmiştir. Bu araziye inşa edileceği kurgulanan konut tipi binanın mimari tasarımı Özer (2011)'den alınmıştır. Binanın yapısal analizleri ideCAD paket programı kullanılarak bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizlerde radye temel çözümlemeleri için programa zemini temsil edecek şekilde geniş bir aralıkta değişen çeşitli yatak katsayısı değerleri girilerek yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapısal analizlerin sonucunda radye temele etkileyen momentler ve gerekli olan donatı alanı hesaplanmıştır. Farklı yatak katsayısı kullanılarak yapılan çözümlemelerin sonucunda radye temele etkileyen momentlerin ve temel donatı metrajının ne ölçüde değiştiği (etkilendiği) belirlenmiştir. Buradan hareketle, zemin yatak katsayısındaki değişimlerin temel donatı metrajı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, çeşitli korelasyonlarla veya yaklaşımlarla bulunan yatak katsayısının zemini temsil eden gerçek (ideal) yatak katsayısından saptığında demir donatı metrajının bundan nasıl etkileneceği belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YATAK KATSAYISI YÖNTEMLERİ

Yatak katsayısının bulunmasına yönelik yapılan çalışmalar kronolojik sırayla aşağıda verilmiştir.

2.1. Winkler (1868)

Yatak katsayısı kavramı ilk kez Winkler (1868) tarafından ortaya atılmıştır. Winkler (1868), zeminin yük altında bir yay gibi davranabileceğini kabul ederek yatak katsayısını, zemine uygulanan basıncın zeminin yer değiştirmesine oranı olarak tanımlamış ve aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (2.1)$$

Yatak katsayısı, t/m³, kN/m³ gibi birimlerle ifade edilebilmektedir. Bu çalışmada SI birim sistemi benimsenmiş ve yatak katsayısı için kN/m³ birimi kullanılmıştır.

2.2. Biot (1937)

Biot (1937), yatak katsayısının teorik olarak da hesaplanabileceğini öne sürmüş ve bunun için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$k_s = \frac{0,95E_s}{B(1 - \nu_s^2)} \left[\frac{B^4 E_s}{E_b I_b (1 - \nu_s^2)} \right]^{0,108} \quad (2.2)$$

2.3. Terzaghi (1955)

Terzaghi (1955), Winkler tarafından önerilen eşitlikteki basınç ve yer değiştirme ilişkisinin plaka yükleme deneyi ile bulunması halinde büyük boyutlu yapı temelleri için aşağıdaki bağıntılarla düzeltilerek kullanılmasını önermiştir.

Kumlu zemine oturan kare temeller için;

$$k_s = k_{0,3} \left(\frac{B + 0,3}{2B} \right)^2 \quad (2.3)$$

Killi zemine oturan kare temeller için;

$$k_s = k_{0,3} \left(\frac{0,3}{B} \right) \quad (2.4)$$

Dikdörtgen temeller için;

$$k_s = \frac{k_{0,3} \left(1 + 0,5 \frac{B}{L} \right)}{1,5} \quad (2.5)$$

2.4. Vesic (1962)

Vesic (1962)'de, yatak katsayısının teorik olarak hesaplanabileceğini öne sürmüş ve bunun için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$k_s = \frac{0,65 E_s}{B(1 - \nu_s^2)} \sqrt[12]{\frac{E_s B^4}{E_b I_b}} \quad (2.6)$$

2.5. Meyerhof ve Baiki (1963)

Meyerhof ve Baiki (1963), yatak katsayısının bulunması için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$k_s = \frac{E_s}{B(1 - \nu_s^2)} \quad (2.7)$$

2.6. Scott (1981)

Scott (1981), yatak katsayısının hesaplanabilmesinin bir yolunun da Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) olduğunu söylemiş ve N_{60} değerini kullanarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$k_s = 1,8 N_{60} \quad (MN/m^3) \quad (2.8)$$

2.7. Bowles (1996a)

Bowles (1996), yatak katsayısının hesaplanması için Winkler (1868) tarafından önerilen bağıntıda zeminde meydana gelen yer değiştirmenin, ani oturma bağıntısı ile hesaplanabileceğini öne sürmüştür. Geoteknik literatüründe ani oturma hesaplanması için çok sayıda bağıntı bulunmakta olup bunların performansı Özer (2012) tarafından karşılaştırılmıştır. Bowles (1996) tarafından önerilen bağıntının doğru kullanılması halinde ani oturma tahmin edilmesinde oldukça başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Bowles, 1996; Özer, 2012). Bowles (1996) tarafından önerilen ani oturma bağıntısı Eş. 2.9'da verilmiştir.

$$\delta = qB' \frac{(1 - \nu_s^2)}{E_s} mI_s I_F \quad (2.9)$$

Eş. 2.9, Winkler (1868) tarafından önerilen Eş.2.1'de yerine yazılıp gerekli sadeleştirmeler yapıldığında yatak katsayısının hesaplanması için aşağıdaki bağıntı elde edilmektedir, Bowles (1996)

$$k_s = \frac{E_s}{B'(1 - \nu_s^2)mI_s I_F} \quad (2.10)$$

Bu bağıntıda yer alan I_s şekil faktörü olup aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilmektedir.

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2\nu_s}{1 - \nu_s} I_2 \quad (2.11)$$

Bu bağıntıda I_1 ve I_2 değerleri Steinbrenner (1934) tarafından önerilen katsayılar olup aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[M \ln \frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1})\sqrt{M^2 + N^2}}{M(1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1})} + \ln \frac{(M + \sqrt{M^2 + 1})\sqrt{1 + N^2}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right] \quad (2.12)$$

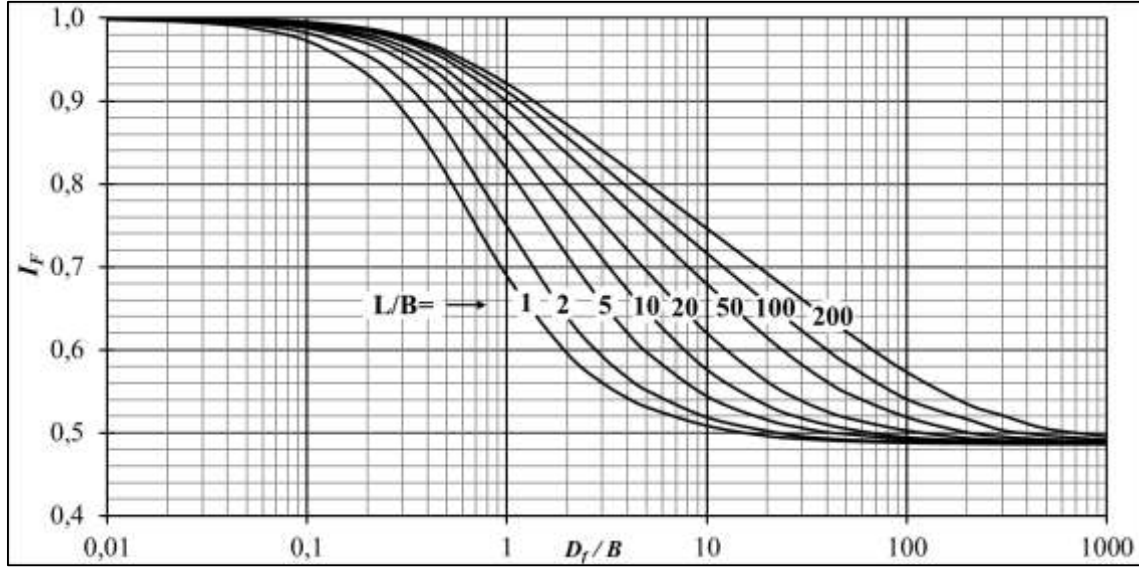
$$I_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{M}{N\sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right) \quad (2.13)$$

Bu bağıntılarda;

$$M = \frac{L'}{B'} \quad (2.14)$$

$$M = \frac{H}{B'} \quad (2.15)$$

Fox (1948) tarafından önerilen I_F katsayıları temel derinliğine (D), temel genişliğine (B) ve zeminin Poisson (ν_s) oranına bağlı olarak Bowles (1996) tarafından kitap ekinde verilen FFACTOR isimli bir yazılımla hesaplanabilmektedir. FFACTOR ile $\nu_s = 0,4$ için hesaplanan bazı katsayılar bir grafik haline getirilmiş ve Şekil 2.1'de sunulmuştur. Hesaplamalar için gerekli olan I_F katsayıları FFACTOR isimli program ile hesaplanabileceği gibi ($\nu_s = 0,4$ için) Şekil 2.1'den de alınabilir. Temelin altında $5B$ 'den daha sığ bir derinlikte sıkışmayı sınırlandırabilecek kadar sert bir zemin tabakasına rastlanmaz ise, $H = 5B$ alınabilir (Bowles, 1996). Elastisite modülü, bir üstteki tabakanın elastisite modülünün 10 katı veya daha fazlası olan bir tabaka sert zemin tabakası olarak kabul edilebilir (Bowles, 1996). Dikdörtgen bir temelin merkezi altındaki ani oturma hesaplanacağına temel dörde bölüneceği için $m = 4$, $B' = B/2$, $L' = L/2$ olmaktadır. Eş. 2.9 ile temelin köşesi altındaki ani oturma da hesaplanabilmektedir (Bowles, 1996). Bu durumda $m = 1$, $B' = B$, $L' = L$ alınmalıdır. I_F katsayısı hesaplanırken her durumda temelin tam boyutları (yani B , B' değil) kullanılmalıdır. Radye temeller pratikte esnek kabul edildikleri için (Bowles, 1996) temelin merkezi altında daha büyük bir oturma meydana gelmesi beklenir. Bu nedenle temelin merkezi altındaki ani oturmaya veren katsayılarla yatak katsayısının hesaplanması daha doğru bir yaklaşımdır. H derinliği içinde farklı katmanların olması durumunda elastisite modülünün ağırlıklı ortalaması alınmalıdır (Bowles, 1996).



Şekil 2.1. $\nu_s = 0,4$ için Fox (1948) tarafından önerilen I_F katsayıları (değerler FFACTOR isimli yazılımla hesaplanmıştır).

2.8. Bowles (1996b)

Bowles (1996), yatak katsayısının nihai taşıma gücüne (q_u) bağlı olarak da hesaplanabileceğini öne sürmüştü ve $\delta = 25$ mm için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir (Aşağıdaki bağıntıda k_s 'nin birimi kN/m^3 olmalıdır).

$$k_s = 40 q_u \quad (2.16)$$

Bowles (1996), Eş. 2.16'da; $\delta = 6, 12$ ve 20 mm oturma için 40 çarpanı yerine sırasıyla $160, 83$ ve 50 katsayılarının getirilmesini önermiştir ve nihai taşıma gücünün hesaplanması için de aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_n D_f N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (2.17)$$

Bowles (1996), yatak katsayısının yaklaşık olarak tahmin edilebilmesi ve yukarıda önerdiği bağıntılarla hesaplanan yatak katsayısının doğruluğunun kontrol edilebilmesi için Çizelge 2.1'de verilen değerleri önermiştir. Bowles (1996), yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanan yatak katsayısının Çizelge 2.1'de belirtilen değerlerden iki veya üç kat büyük çıkması halinde hesaplamalarda büyük bir hata olabileceğini ve kontrol edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bowles (1996), Çizelge 2.1'de verilen değerlerin, yukarıda verilen eşitliklerle

hesaplanan yatak katsayısını karşılaştırmak için bir rehber olarak kullanılmasını önermiş ve herhangi bir zeminin yatak katsayısını bulmak için tabloda verilen sınır değerlerin ortalamasının alınmasının doğru bir yaklaşım olmadığını ifade etmiştir.

Çizelge 2.1. Bowles (1996) tarafından önerilen yatak katsayıları

Zemin	Yatak katsayısı, k_s (kN/m ³)
Gevşek kum	4 800 – 16 000
Orta sıkı kum	9 600 – 80 000
Sıkı kum	64 000 – 128 000
Killi orta sıkı kum	32 000 – 80 000
Siltli orta sıkı kum	24 000 – 48 000
Killi Zemin	
$q_a \leq 200$ kPa	12 000 – 24 000
$200 < q_a \leq 800$ kPa	24 000 – 48 000
$q_a > 800$ kPa	> 48 000

2.9. Unutmaz ve Aygün (2019)

Unutmaz ve Aygün (2019), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yaptıkları çok sayıda sayısal analizlerin sonucunda yatak katsayısı için aşağıdaki eşitliği geliştirmişlerdir.

$$k_s = 0,0383 \frac{E_s}{B^{0,45}(1 - \nu_s)} (1 + \sin \phi)^3 (1 + T)^{0,3} \quad (2.18)$$

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yatak katsayısının radye temel tasarımına etkisinin araştırılmasına yönelik yapılmış olan önceki çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Aykanat (2005), farklı zemin yatak katsayıları ve farklı temel parametreleri kullanarak yaptığı çalışmada 3 farklı durumu incelemiştir. Her durumda 26 m x 26 m ölçülerinde kare şeklinde bir radye temel kullanmıştır. Birinci durumda yatak katsayısının 7500 ve 120000 kN/m³ arasında değiştirmiş ve temele gelen yükleri de 1000 ila 4000 kN arasında değiştirmiştir. Temel kalınlığı ve kolon açıklığını sabit tutmuştur. Birinci durum sonucunda yüklerin arttığı ve zemin yatak katsayısının azaldığı durumda temelde oluşan moment değerlerinin arttığı sonucuna varmıştır. İkinci durumda temel kalınlığını 0,3 m ile 1,2 m arasında değiştirmiş, temele gelen yükü 3000 kN olarak sabit tutmuş ve zemin yatak katsayısını 7500 ile 120000 kN/m³ arasında değiştirmiştir. Kolonlar arası mesafeyi 8 m olarak sabit tutmuştur. İkinci durum sonucunda temel kalınlığı arttıkça ve zemin yatak katsayısı arttıkça temelde oluşan momentlerin azaldığını göstermiştir. Üçüncü durumda ise temel kalınlığını ve uygulanan yükü sabit tutmuş, kolonlar arası mesafeyi ve zemin yatak katsayısını değiştirmiştir. Üçüncü durum sonucunda yatak katsayısı arttıkça momentlerin azaldığını ancak birbirine en yakın moment değerlerin bu durumda olduğunu gözlemlemiştir. Aykanat (2005), yatak katsayısı değişiminden dolayı temele yerleştirilmesi gereken donatı miktarını hesaplamamıştır. Daha öne yapılan çalışmalar arasında bu tez çalışmasına en büyük benzerlik gösteren çalışma Aykanat (2005)'in çalışmasıdır. Ancak Aykanat (2005)'in çalışmasının bu çalışmayla olan temel farklılığı yatak katsayısı değişiminden dolayı temele yerleştirilmesi gereken donatı miktarını hesaplamamış olmasıdır.

Avcı (2015), yatak katsayısının plaka yükleme deneylerinden ve literatürde bulunan bağıntılardan elde edildiğini söylemiş ve zemin türüne göre çok geniş bir aralıkta değiştiğini bir tablo halinde göstermiştir. Çok geniş aralıkta değişen bu tablodaki değerlerin kullanılırken çok dikkatli olunması gerektiğini açıklamıştır. Plaka yükleme deneyinin ise sadece sığ derinliklerde etkili olduğunu ve derin temeller için uygun bir yatak katsayısı değeri belirleyemediğini ayrıca temel boyutuna bağlı olarak düzeltmeler yapılması gerektiğini söylemiştir. Çalışmasında plaka yükleme deneylerinden elde edilen veriler ile

kullandığı veri tabanındaki veriler, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen yük – deplasman eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerin çok değişken elastisite modüllerine sahip olabileceğini göstermiştir. Bunun sonucunda; temel tasarımı yapılırken, deplasmana bağlı olarak azalma eğilimi gösteren yatak katsayısı için; temel derinliğine, zemin içsel sürtünme açısına ve zemin elastisite modülüne bağlı olarak geliştirilen korelasyonların kullanılmasının daha doğru bir yaklaşım olacağı fikrine varmıştır.

Mughieda (2017) çalışmasında yatak katsayısının radye temel davranışına olan etkisi üzerine parametrik bir çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışma ışığında zemin yatak katsayısı değeri arttıkça radye temelde oluşan sehimin azaldığını ancak bu deformasyon değerlerinin ampirik yöntemler ve saha deneyleri kullanılarak doğrulanmasını tavsiye etmiştir. Yatak katsayısı değerinin değişmesinin temel altındaki zeminde oluşan gerilme dağılımı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu söyleyen Mughieda yatak katsayısı arttıkça gerilme değerlerinin kolon bölgesi çevresinde yoğunlaştığını belirtmiştir.

Aygin (2019) çalışmasında farklı bilim insanlarının önerdiği zemin yatak katsayısının hesaplanmasında kullanılan eşitliklere ek olarak zemin yatak katsayısının hesaplanmasında kullanılabilecek bir yatak katsayısı eşitliği önermiştir. Bu eşitliği oluştururken zeminin ve temelin fiziksel ya da mekanik özelliklerini, indeks özelliklerini ve kayma mukavemeti parametrelerini kullanmıştır. Sonucunda bir eşitlik geliştirmiş ve maksimum olabilirlik tahmini yöntemi kullanarak minimum sapma ile geliştirdiği formülü optimize etmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda zemin yatak katsayısının hesaplanması için bir eşitlik (Eş. 2.18) önermiştir.

Al Kaaby Al Zoaby (2022) çalışmasında radye temel tasarımında kullanılan zemin yatak katsayısının üniform bir şekilde kullanılmasının dezavantajlarından bahsetmiş ve bu uygulama ile ACI'nı yayımladığı Ayırık Alan Metodunu karşılaştırmıştır. Ayırık Alan Metodunda zemin için tek bir yatak katsayısı kullanmaktan ziyade yapı – zemin etkileşimini daha doğru modellemek için değişken zemin yatak katsayısı kullanımından bahsedildiği vurgulamıştır. Çalışmasının sonucunda radye temel boyunca değişken yatak katsayısı kullanımının radye temel donatı miktarında önemli bir azalmaya ve daha optimize donatı dağılımına neden olduğu sonucunu göstermiştir.

Yukarıda verilen çalışmalar incelendiğinde yatak katsayısının radye temel tasarımı üzerindeki etkisi üzerine sınırlı sayıda çalışma yapıldığı, yatak katsayısındaki değişimlerin radye temel donatı metrajı üzerindeki etkisinin ise araştırılmadığı görülmektedir.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler ve yöntemler verilmiştir. Malzeme kısmında çalışmada kullanılan zemin parametreleri ve yapı projesiyle ilgili bilgiler verilirken yöntem kısmında çalışmanın nasıl yapıldığı ile ilgili bilgiler yer almaktadır.

4.1. Malzeme

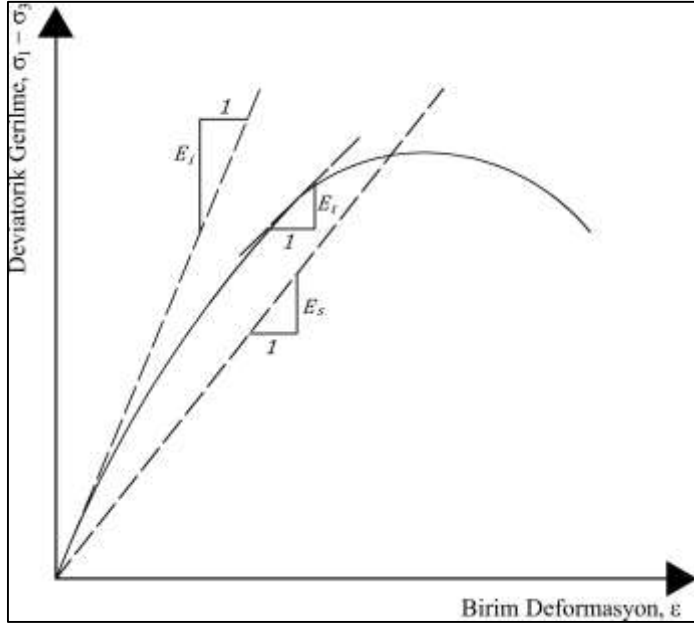
4.1.1. Elastisite modülü

Yatak katsayısının bulunmasına yönelik bağıntılar incelendiğinde nerdeyse hepsinde zeminin elastisite modülüne ve Poisson oranına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Eş. 2.18’de ise ilaveten zeminin içsel sürtünme açısına da gereksinim duyulmaktadır.

Elastisite modülü, gerilme – birim deformasyon (σ - ϵ) grafiğinin eğimi olup, doğrusal elastik davranış gösteren malzemelerde eğri üzerinde herhangi bir nokta seçilerek o noktaya karşılık gelen gerilmenin birim deformasyona oranı olarak hesaplanabilir. Malzeme doğrusal davranış gösteriyorsa noktanın yeri önemli değildir. Doğru üzerinde hangi nokta alınırsa alınsın hep aynı elastisite modülü bulunur. Yani başka bir ifadeyle doğrusal elastik davranış gösteren malzemelerin elastisite modülü sabittir.

Ancak zeminler yük altında doğrusal davranış göstermedikleri için tek bir (sabit) elastisite modülünden söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle zeminlerin elastisite modülünü ifade edebilmek için üç farklı tanımlama yapılmıştır. Bunlar başlangıç, tanjant ve sekant elastisite modülüdür.

Başlangıç elastisite modülü, eğrinin başlangıç kısmına çizilen teğetin eğimidir. Tanjant elastisite modülü, eğri üzerinde seçilen herhangi bir noktada eğriye çizilen teğetin eğimidir. Sekant elastisite modülü ise eğri üzerinde seçilen bir noktayı orijine birleştiren doğrunun eğimidir (Das, 2008). Şekil 4.1’de bu elastisite modülleri üç eksenli basınç deneyinden elde edilebilecek tipik bir gerilme-birim deformasyon grafiği üzerinde şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Gerilme – birim deformasyon grafiği üzerinden elastisite modülünün belirlenmesi, (Das, 2008)

Zeminlerde hangi elastisite modülünün alınacağına dair genel kabul görmüş kesin bir kural yoktur. Bu çalışmada, zemini daha iyi temsil ettiği ve yatak katsayısının hesaplanması amacıyla Bowles (1996) tarafından önerildiği için başlangıç elastisite modülü (E_i) alınmıştır.

4.1.2. Poisson oranı

Poisson oranı, zeminin yük altında meydana gelen yanıl birim deformasyonunun düşey birim deformasyonuna oranıdır (Bowles, 1996). Zeminin Poisson oranının arazi veya laboratuvar deneyi yapılarak bulunması oldukça zordur. Bu nedenle geoteknik hesaplarda genellikle tablo değerlerinden yararlanılarak elde edilmektedir. Bu amaçla Bowles (1996) tarafından zemin tipine bağılı olarak önerilen Poisson oranı değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Zeminlerin Poisson oranı için önerilen tipik değerler (Bowles, 1996).

Zemin Tipi	ν
Kil, doymuş	0,4 – 0,5
Kil, doymuş olmayan	0,1 – 0,3
Kumlu Kil	0,2 – 0,3
Silt	0,3 – 0,35
Kum, çakıllı kum	0,1 – 1,00
çoğunlukla kullanılan	0,3 – 0,4
Kaya	0,1 – 0,4 (kaya tipine bağlıdır)
Lösler	0,1 – 0,3
Buz	0,36
Beton	0,15
Çelik	0,33

Çizelge 4.2. Genel zemin tipine göre önerilen tipik Poisson oranı değerleri (Bowles, 1996)

ν	Zemin Tipi
0,4 – 0,5	Çoğu killi zemin
0,45 – 0,50	Doymuş killi zeminler
0,3 – 0,4	Kohezyonsuz, orta sıkı – sıkı zeminler
0,2 – 0,35	Kohezyonsuz, orta sıkı - gevşek zeminler

4.1.3. İçsel sürtünme açısı

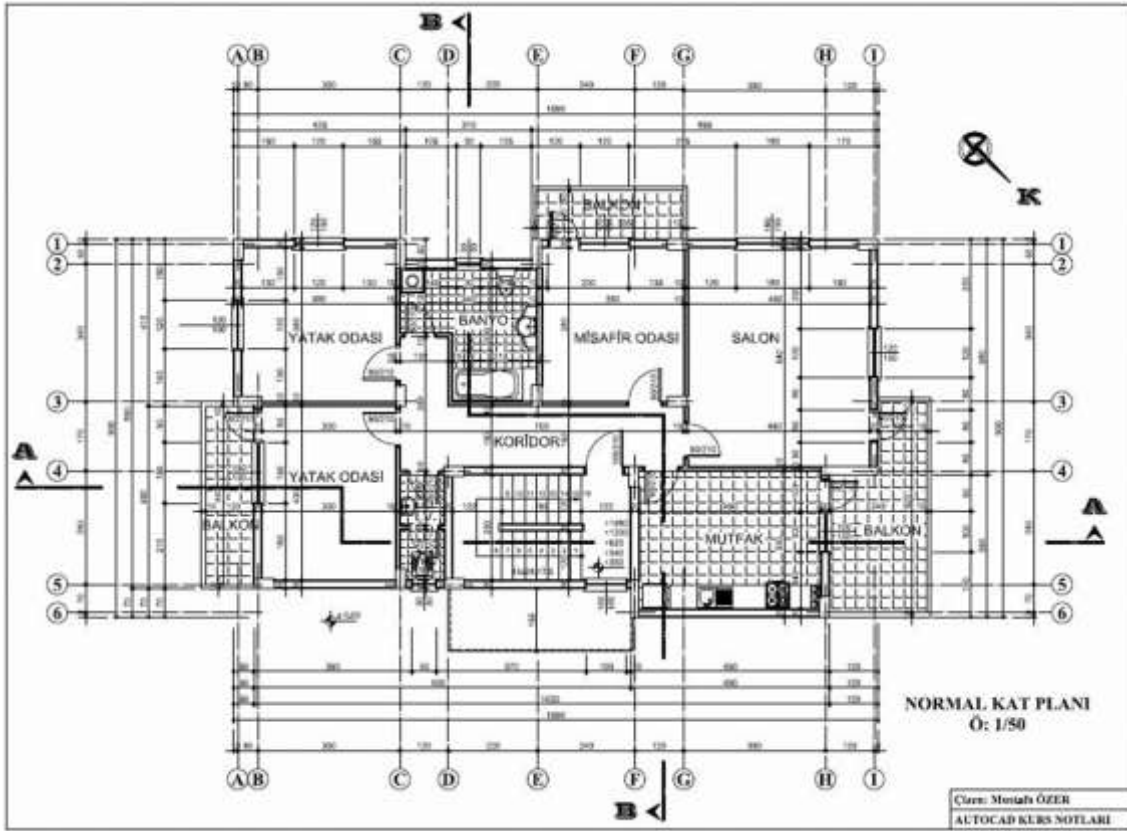
Zeminin içsel sürtünme açısı araziden alınan UD numuneleri kullanılarak laboratuvarında tarafımızdan yapılan üç eksenli basınç deneylerinin sonucunda elde edilen veriler ile Mohr – Coulomb yenilme zarfı çizilerek hesaplanmıştır.

4.1.4. Kohezyon

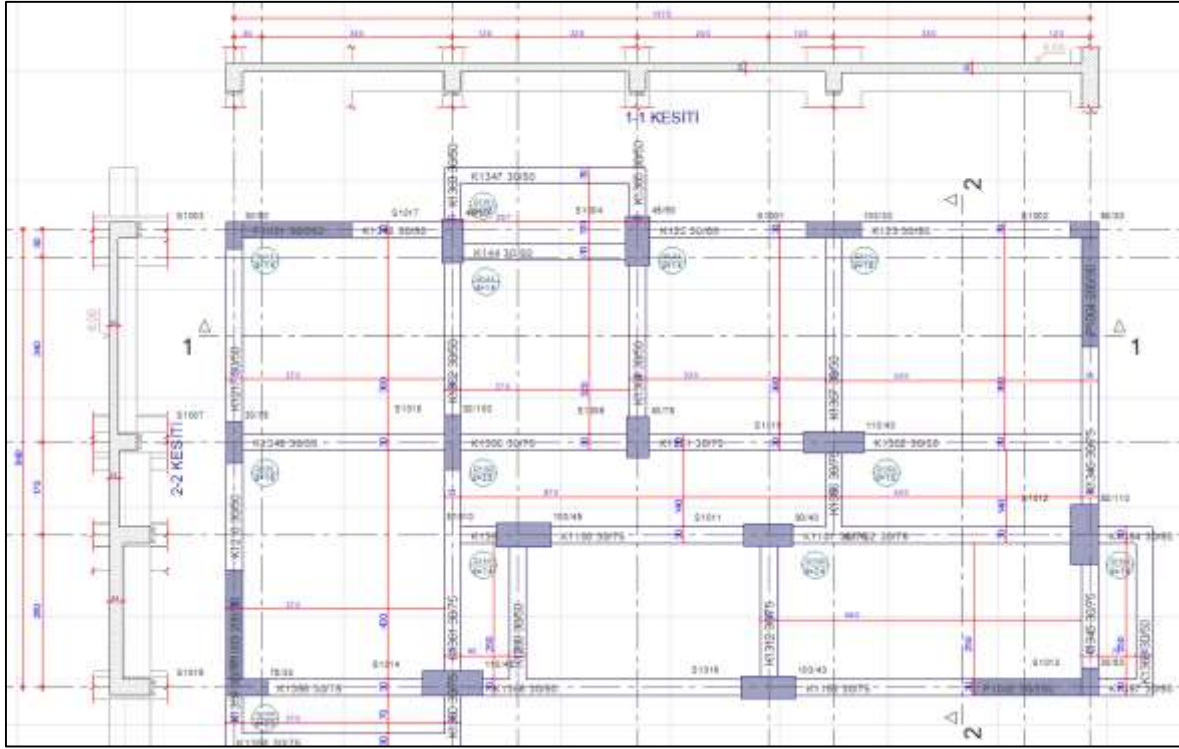
Zeminin kohezyon değeri araziden alınan UD numuneleri kullanılarak laboratuvarında tarafımızdan yapılan üç eksenli basınç deneyleri sonucunda elde edilen veriler ile Mohr – Coulomb yenilme zarfı çizilerek hesaplanmıştır.

4.1.5. Bina projesi

Bu çalışmada kullanılan binanın mimari projesi Prof. Dr. Mustafa ÖZER'in AutoCAD kurs notlarından alınmıştır (Özer, 2011). Bina, tek daireli konut türü bir bina olup 10 kat + bodrum olacak şekilde modellenmiştir. Binanın radye temel ölçüleri 9,7 x 17 m olup, 165 m² temel oturum alanına sahiptir. Radye temel kalınlığı 80 cm, temel derinliği 2,8 m olarak alınmıştır. Binanın mimari kat planı Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan binanın mimari kat planı.



Şekil 4.3. Çalışmada kullanılan binanın statik proje kalıp planı

4.1.6. Temel betonuna ait yapısal tasarım parametreleri

Yapısal analizlerde temel betonunun basınç dayanımı C25/30 olarak kullanılmıştır. Seçilen beton basınç dayanımı temelde oluşan içsel kuvvetleri karşılayabilecek düzeydedir. Radye temel in kalınlığı 80 cm olarak seçilmiştir.

Temelin elastisite modülü, temelde kullanılan beton malzemesiyle aynı olarak kabul edilmiştir. Bu değ er ise TS 500’de önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitlik normal yoğunlukta betonlar için verilmiş olup aşağıdaki gibidir.

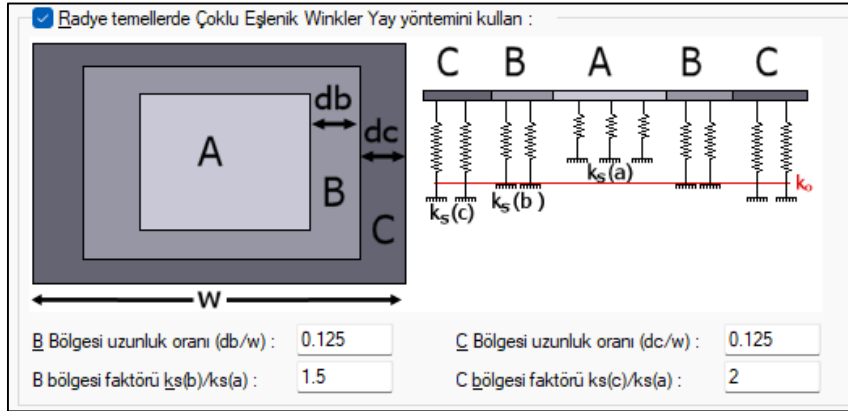
$$E_b = 3250\sqrt{f_c} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte betonun basınç dayanımı, f_c , MPa cinsinden kullanılmaktadır. Bu eşitlik kullanılarak temel betonunun elastisite modülü $E_b = 26 \text{ GPa}$ olarak hesaplanmıştır.

4.2. Yapısal Analizlerde Uygulanan Yöntem

Yapısal analizler ve radye temelin yapısal tasarım hesapları ideCAD (version 10.94) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

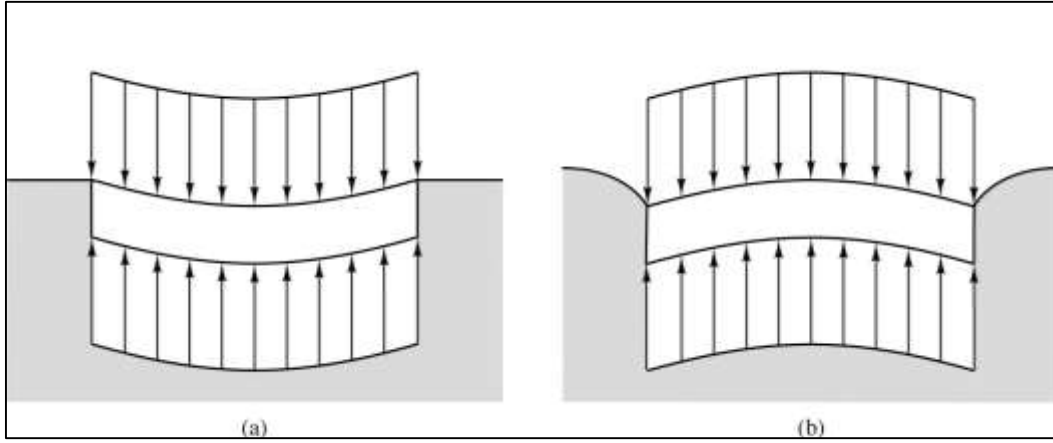
Yatak katsayısı kullanılarak radye temellerin yapısal tasarımının gerçekleştirilmesinde iki farklı yaklaşım uygulanabilmektedir. Bunlardan ilki temelin altında üniform bir yatak katsayısı bulunduğunu kabul eden Winkler yaklaşımı, ikincisi ise temelin içten dışa doğru yatak katsayısı değerlerini büyüterek ilerleyen çoklu eşlenik Winkler yaklaşımıdır. ideCAD paket programı bu yaklaşımların her ikisini de uygulayarak çözümleme yapabilmektedir (Resim 4.1).



Resim 4.1. Çoklu eşlenik Winkler yay yöntemi ve katsayıları (ideCAD paket programından bir ekran görüntüsü)

Çoklu eşlenik Winkler yöntemi, The American Concrete Institute (ACI)'ün yayınladığı “ACI 336.2R-88 - Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats (Reapproved 2002)” adlı dokümanında belirtildiği üzere temeli içerden dışarıya doğru sırasıyla, merkez bölge, iç bölge ve dış bölge olmak üzere üç bölgeye ayırır ve bu üç bölge için içerden dışarıya doğru belli bir oranda artacak şekilde farklı zemin yatak katsayıları önerir. Böylece temelin ortasında daha çok deformasyon olmasına izin verilmiş olur. Bu sayede esnek temel modellemesi yapılmış olur.

Çalışmada Çoklu Eşlenik Winkler yay yöntemi kullanılırken zemin – yapı etkileşimi de göz önünde bulundurmuş ve yöntem esnek radye temellerin killi zeminler için kabul edilen oturma şekli ile uyumlu olarak çalıştırılmıştır.



Resim 4.2. (a) Kil üzerinde esnek temel, (b) kum üzerinde esnek temel, Coduto (2001)

Resim 4.2’den de görüleceği üzere esnek radye temellerin kumlu ve killi zeminlerde farklı davranacağı kabul edilir. Çalışmada kullanılan arazide zemin killi birimlerden meydana geldiği için Resim 4.2 (a)’da görüldüğü gibi temelin orta kısmında daha büyük oturmaların meydana gelmesi beklenmektedir. Bu çalışmada kullanılan Çoklu Eşlenik Winkler Yay yönteminde yatak katsayısı değerleri temelin ortasından kenarlarına doğru artacak şekilde seçildiği için Resim 4.2 (a)’da görülen temel davranışı modellenmiş olmaktadır.

Yatak katsayısının demir donatı metrajına etkisinin araştırılması için ideCAD ile gerçekleştirilen yapısal analizlerde yatak katsayısı değerleri 500 ile 500000 kN/m³ arasında değiştirilerek programa girilmiş ve bu yatak katsayılarına karşılık gelen radye temel donatı metrajları hesaplanmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında yapılmış olan arazi ve laboratuvar çalışmaları aşağıda açıklanmıştır.

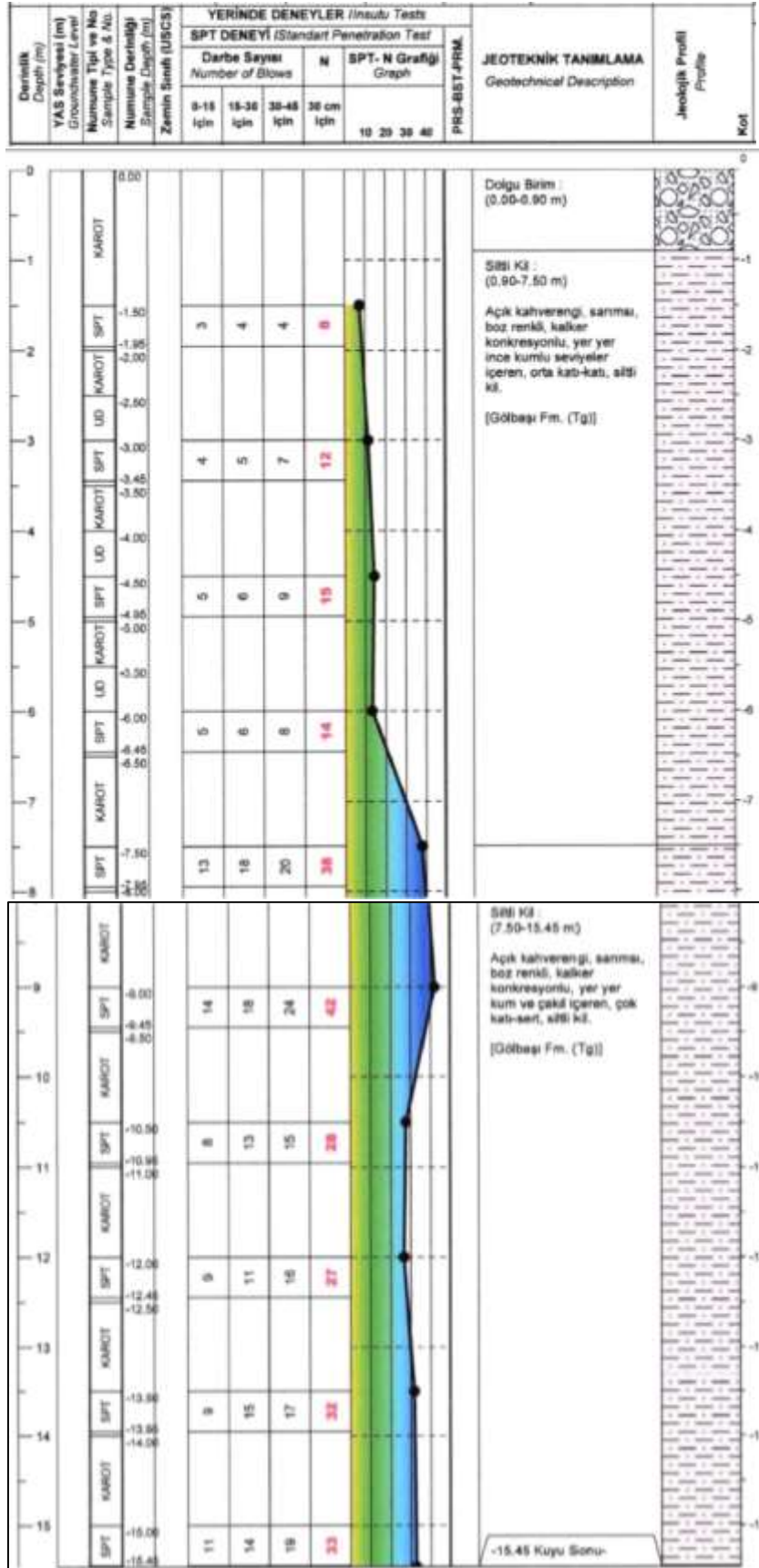
5.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları Hendese Jeoteknik Firması tarafından Eylül 2022’de Ankara ili, Yenimahalle ilçesi, Atatürk Orman Çiftliği Mahallesi’nde (Söğütözü mevkiinde) gerçekleştirilen parsel bazında zemin etüt çalışmaları dahilinde yapılmıştır. İnceleme alanında yer alan birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimlerini ve mühendislik özelliklerini saptamak amacıyla her biri 15,5 m derinliğinde 3 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlar kamyonu monteli hidrolik rotary tip sondaj makinesi kullanılarak yapılmıştır. Açılan her sondaj kuyusunda her 1,5 metrede bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Bazı sondajlarda belli derinliklerden UD numuneleri alınmıştır. Bu çalışmada SK-2 nolu sondaj kuyusundan 5,50-6,0 m derinlikten alınan bir UD numunesi kullanılmıştır. Sondaj çalışmalarından bir görünüm Resim 5.1’de, SK-2 sondaj kuyusuna ait sondaj logu ise Resim 5.2’de verilmiştir.



Resim 5.1. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından bir görüntü

Sondaj logları incelendiğinde zeminin orta katı siltli kil birimlerden meydana geldiği görülmektedir.



Resim 5.2. İnceleme alanında açılan SK-2 sondaj kuyusuna ait sondaj logu

5.1.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Açılan her sondaj kuyusunda zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. SPT deneyinde, dış çapı 50 mm, iç çapı 35 mm ve uzunluğu 650 mm olan içi boş boyuna yarıklı bir numune alıcı (SPT çarığı) 63.5 kg ağırlığındaki bir şahmerdanın 76 cm yükseklikten serbest olarak düşmesi ile 15 cm'lik kademeler halinde toplam 45 cm boyunca zemine çakılmakta ve her 15 cm'lik ilerleme için uygulanan darbe sayıları kaydedilmektedir. Kuyu tabanında örselenme olabileceği göz önüne alındığından ilk 15 cm'lik ilerleme için uygulanan darbe sayıları hesaplarda dikkate alınmamakta, son iki kademenin ilerlemesi için uygulanan darbe sayılarının toplamı ise "Zeminin Penetrasyon Direnci-(SPT-N)" olarak kaydedilmektedir. SPT deneylerinin yapılmasında otomatik düşürmeli şahmerdan sistemli kullanılmış olup bu sistemin enerji oranı zemin etüt raporunda yaklaşık %60 olarak beyan edilmiştir.

Bu çalışmada, SK-2 nolu sondaj kuyusundan alınan bir UD numunesi kullanıldığı için bu sondaj kuyusunda gerçekleştirilen SPT deneylerinin sonuçları Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. SK-2 nolu sondaj kuyusunda gerçekleştirilen SPT sonuçları

Derinlik (m)	15 cm/15cm/15 cm ilerleme için Uygulanan darbe sayıları	SPT-N sayıları
1,50 – 1,95	3/4/4	8
3,00 – 3,4	4/5/7	12
4,50 – 4,95	5/6/9	15
6,00 – 6,45	5/6/8	14
7,50 – 7,95	13/18/20	38
9,00 – 9,45	14/18/24	42
10,50 – 10,95	8/13/15	28
12,00 – 12,45	9/11/16	27
13,50 – 13,95	9/15/17	32
15,00 – 15,45	11/14/19	33

5.2. Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında araziden SK-2 nolu sondaj kuyusundan alınan UD numunesi

üzerinde laboratuvarda su muhtevası, üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Üç eksenli basınç deneyi 50, 100 ve 150 kPa hücre basıncı altında 3 kere yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi ise farklı yükleme adımları uygulanarak 4 kere yapılmıştır. Bu laboratuvar deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında tarafımızdan yapılmıştır.

5.2.1. Su muhtevası

Araziden alınan zemin örneğiyle zeminin doğal su içeriğinin tespit edilmesi için su muhtevası deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

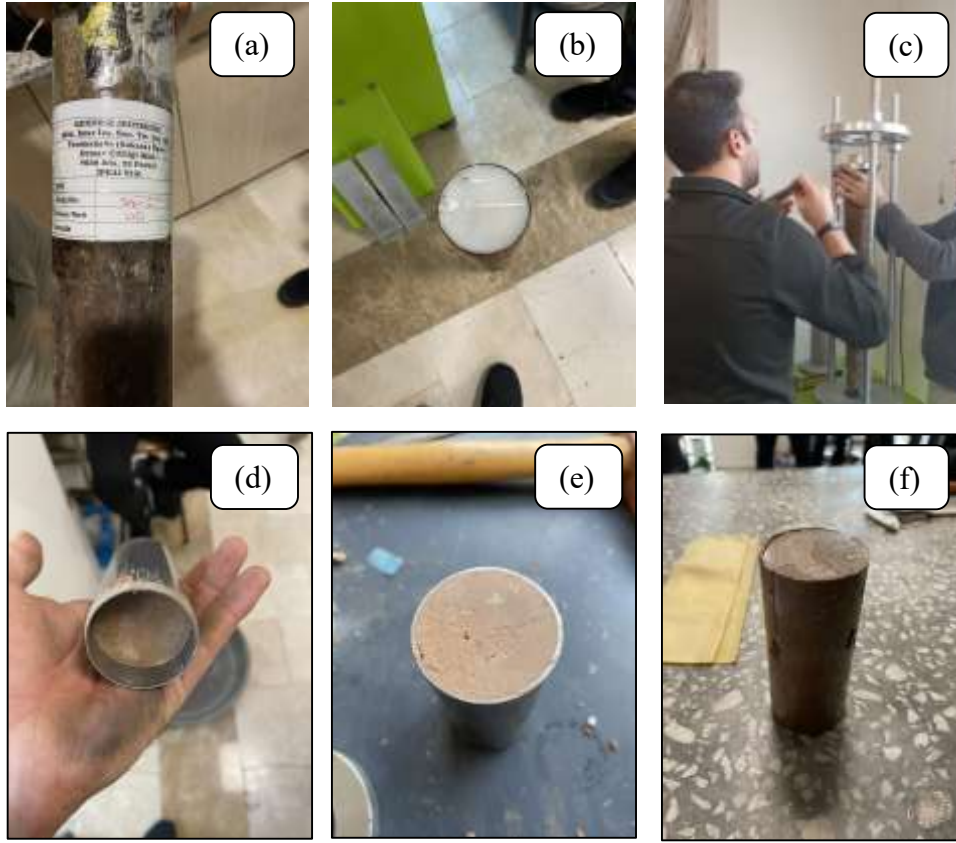
Çizelge 5.2. Su muhtevası deney sonuçları

Veri Etiketi	Numune A	Numune B	Numune C
Kap No	47	13	2
Kap Ağırlığı (g)	75,70	89,71	85,51
Kap + Yaş (g)	186,70	195,04	198,12
Kap + Kuru (g)	154,88	168,25	166,01
Su Muhtevası, W_n (%)	40,19	34,11	39,89

5.2.2. Üç eksenli basınç deneyi

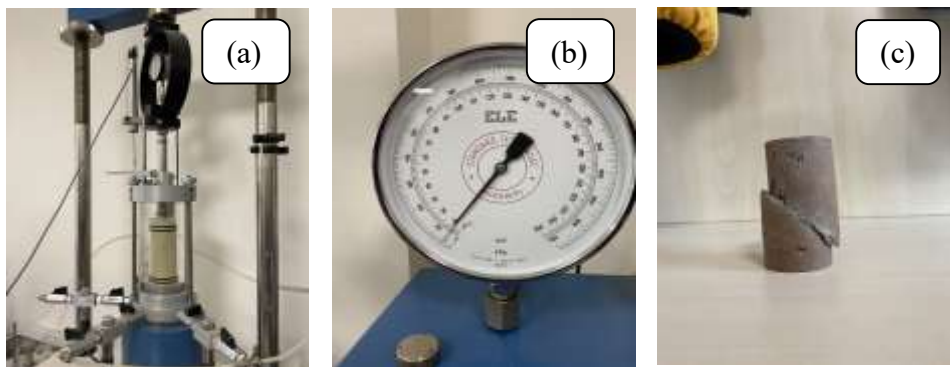
Bu çalışma kapsamında araziden alınan UD numunesine laboratuvarda sırasıyla 50, 100 ve 150 kPa hücre basıncı altında toplam 3 adet konsolidasyonsuz – drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile zeminin elastisite modülü, içsel sürtünme açısı ve kohezyonu hesaplanmıştır.

UD tüpünden çıkartılan silindirik deney numuneleri üç eksenli basınç deneyine hazırlanmadan önce boyu, çapı ve ağırlığı ölçülerek kaydedilmiştir. Bu bilgiler kullanılarak numunelerin doğal birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Deney numunesinin hazırlanması aşamasından bazı görüntüler Resim 5.3’te, deneyin yapılması aşamasından bazı görüntüler ise Resim 5.4’te verilmiştir.



Resim 5.3. (a) Araziden getirilen UD tüpü (b) UD tüpünün parafınle kapatılmış hali (c) Numunenin UD tüpünden çıkartılması (d) ve (e) UD tüpünden 38 mm çapındaki tüple alınmış numune (f) 38 mm çapındaki tüpten çıkartılmış UD numunesi

Deney için araziden alınan UD tüpünden uygun şekilde çıkartılan 38 mm çapındaki silindirik numune üç eksenli basınç deney hücresine yerleştirilmeden önce uygun aparatlar kullanılarak membranla kaplanmış ve her iki ucuna ikişer adet sızdırmazlık contası (O-ring) yerleştirilmiştir (Resim 5.4).



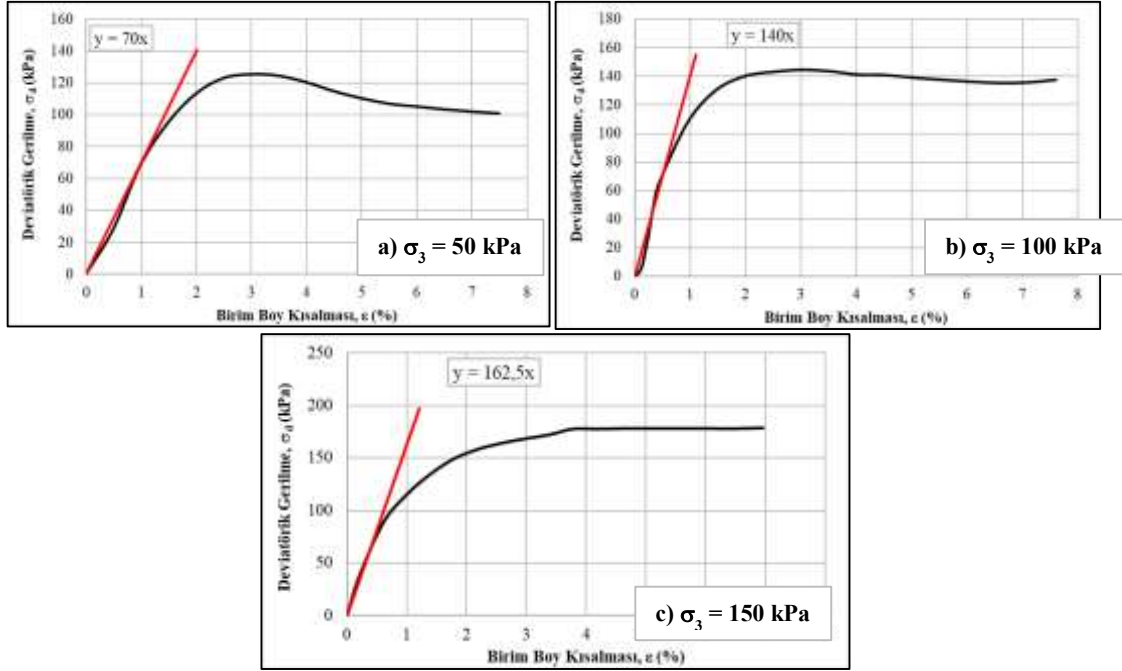
Resim 5.4. (a) Üç eksenli basınç deney aleti (b) Hücre basıncı (c) Zemin numunesinin deney sonunda yenilmiş-kırılmış şekli

Gerçekleştirilen 3 adet deney sonucunda elde edilen gerilme-birim deformasyon değerleri Çizelge 5.3'te sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Üç eksenli basınç deneyinden elde edilen sonuçlar

Num A (50 kPa)		Num B (100 kPa)		Num C (150 kPa)	
Stress (kPa)	Strain (%)	Stress (kPa)	Strain (%)	Stress (kPa)	Strain (%)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28,20	0,49	5,51	0,12	36,92	0,20
68,72	0,99	25,35	0,23	88,36	0,60
95,68	1,50	49,23	0,34	115,55	1,00
113,65	2,00	65,76	0,45	134,83	1,39
123,34	2,50	107,46	0,95	149,53	1,79
125,64	2,99	130,06	1,45	158,71	2,19
124,75	3,49	140,16	1,97	164,59	2,60
120,70	3,99	143,28	2,49	168,82	3,00
115,06	4,49	144,75	3,00	172,49	3,39
110,66	4,98	143,83	3,52	178,00	3,78
107,13	5,49	141,45	4,03	178,00	4,17
105,37	5,98	141,08	4,53	178,37	4,58
103,61	6,48	139,24	5,05	178,37	4,97
102,20	6,99	137,77	5,56	178,37	5,37
100,97	7,49	136,49	6,07	178,37	5,77
		135,57	6,58	178,37	6,17
		135,94	7,09	178,37	6,56
		137,77	7,60	178,92	6,97
		138,69	8,11	179,84	7,38
		139,24	8,62	180,21	7,78
		137,77	9,13	180,76	8,18
		135,94	9,63	181,68	8,57
				183,51	8,96
				185,72	9,36
				187,55	9,75
				187,19	10,15
				187,19	10,56

Çizelge 5.3'te sunulan deney sonuçları kullanılarak çizilen gerilme – birim deformasyon grafikleri Şekil 5.1'de sunulmuştur. Gerilme birim deformasyon grafikleri üzerinde zeminin başlangıç elastisite modülü de hesaplanmıştır. Şekil 5.1'de görülen kırmızı doğrusal çizgiler zeminin başlangıç elastisite modülünün bulunmasında kullanılmıştır. Kırmızı çizgilerin eğimi zeminin başlangıç elastisite modülünü vermektedir.

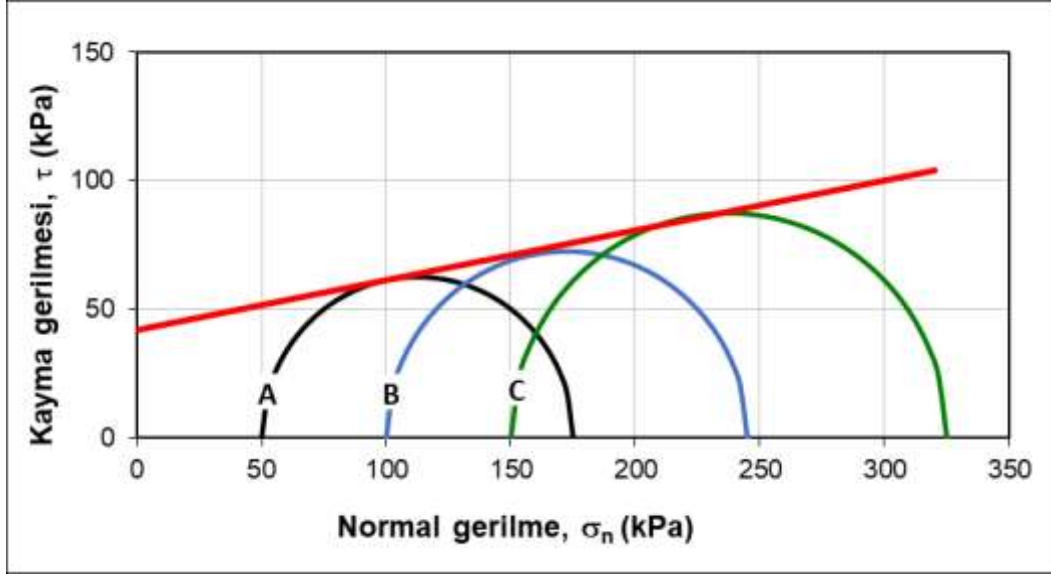


Şekil 5.1. Üç eksenli basınç deneyinde; a) 50 kPa, b) 100 kPa, c) 150 kPa hücre basıncı altına yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar

Şekil 5.1 üzerinde çerçeve içerisinde “ $y=ax$ ” formatında verilen eşitliklerde x ’in katsayısının 100 ile çarpımı zeminin başlangıç elastisite modülünü vermektedir (Elastisite modülü hesaplanırken birim boy kısalması değerinin 100 ile çarpılmamış olması gerektiğinden ve Şekil 5.1’deki grafiklerde ise ε değerleri 100 ile çarpılarak verildiğinden elastisite modülü bulunurken x ’in katsayısının da 100 ile çarpılması gerekmiştir).

Elde edilen sonuçlara göre; 50, 100 ve 150 kPa hücre basınçları için zeminin başlangıç elastisite modülü sırasıyla 7000, 14000 ve 16250 kPa olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.1). Hücre basıncı arttıkça zeminin başlangıç elastisite modülünün de bir miktar arttığı görülmektedir. Bunun beklenen bir sonuç olduğu literatürden bilinmektedir (Örn. Bowles, 1996).

Zeminin içsel sürtünme açısını ve kohezyonunu bulmak için doruk (yenilme anındaki) deviatörük gerilme değerleri kullanılarak Mohr çemberleri çizilmiştir (Şekil 5.2). Mohr çemberlerine çizilen teğetin (yenilme zarfının) eğiminden zeminin içsel sürtünme açısı $\phi = 11^\circ$ olarak bulunmuştur. Yenilme zarfının düşey eksenini kestiği noktadan ise zeminin kohezyonu $c = 42$ kPa olarak bulunmuştur.



Şekil 5.2. 3 eksenli basınç (UU) deneyinden elde edilen Mohr – Coulomb yenilme zarfı

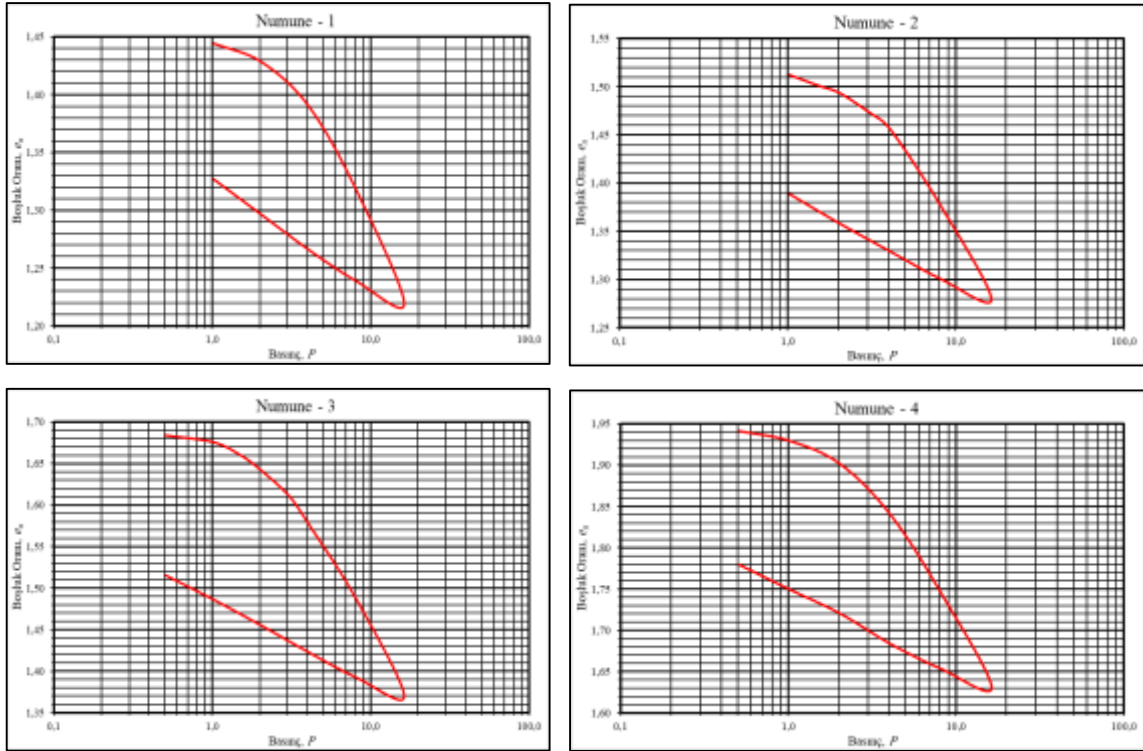
5.2.3. Konsolidasyon deneyi

Bu çalışma kapsamında 4 adet konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Konsolidasyon deneyleri farklı yükleme adımları kullanılarak gerçekleştirilmiş olup bu deneylerin sonucunda boşluk oranı-basınç ($e - \log P$) grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerin üzerinden konsolidasyon oturmaların hesaplanmasında kullanılacak olan hacimsel sıkışma modülü (m_v) ve sıkışma indisi (C_c) hesaplanmıştır.

Birinci konsolidasyon deneyinde uygulanan yükleme adımları $2, 4, 8, 16, 32, 16, 8, 4, 2 \text{ kg}$, ikinci konsolidasyon deneyinde uygulanan yükleme adımları $2, 3, 4, 6, 8, 16, 32, 16, 8, 4, 2 \text{ kg}$, üçüncü konsolidasyon deneyinde uygulanan yükleme adımları $1, 2, 3, 4, 6, 8, 16, 32, 16, 8, 4, 2, 1 \text{ kg}$ ve dördüncü konsolidasyon deneyinde uygulanan yükleme adımları $1, 2, 4, 8, 16, 32, 16, 8, 4, 2, 1 \text{ kg}$ olarak seçilmiştir. Bu deneylerin sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.4'te, $e - \log P$ grafikleri ise Şekil 5.3'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Konsolidasyon deney numuneleri üzerinde yapılan ölçümler

Numune - 1		Numune - 2		Numune - 3		Numune - 4	
Su Muhtevası, W_n (%)	33,61	Su Muhtevası, W_n (%)	33,98	Su Muhtevası, W_n (%)	38,20	Su Muhtevası, W_n (%)	37,22
Halka Ağırlığı (g)	66,15	Halka Ağırlığı (g)	66,24	Halka Ağırlığı (g)	66,29	Halka Ağırlığı (g)	65,57
Halka Yüksekliği (mm)	20,00	Halka Yüksekliği (mm)	20,00	Halka Yüksekliği (mm)	20,00	Halka Yüksekliği (mm)	20,00
Halka Çapı (mm)	50,00	Halka Çapı (mm)	50,00	Halka Çapı (mm)	50,00	Halka Çapı (mm)	50,00
Poroz Taşı Yüksekliği (mm)	4,70	Poroz Taşı Yüksekliği (mm)	4,80	Poroz Taşı Yüksekliği (mm)	5,35	Poroz Taşı Yüksekliği (mm)	4,95
Numune Yüksekliği (mm)	15,30	Numune Yüksekliği (mm)	15,20	Numune Yüksekliği (mm)	14,65	Numune Yüksekliği (mm)	15,05
Halka + Numune Ağırlığı (g)	123,82	Halka + Numune Ağırlığı (g)	122,53	Halka + Numune Ağırlığı (g)	120,73	Halka + Numune Ağırlığı (g)	115,23
Tane Yoğunluğu, G_s (Mg/m ³)	2,65	Tane Yoğunluğu, G_s (Mg/m ³)	2,65	Tane Yoğunluğu, G_s (Mg/m ³)	2,65	Tane Yoğunluğu, G_s (Mg/m ³)	2,65
γ_n (g/cm ³)	1,92	γ_n (g/cm ³)	1,89	γ_n (g/cm ³)	1,89	γ_n (g/cm ³)	1,68
Moment Kolu Çarpanı	10	Moment Kolu Çarpanı	10	Moment Kolu Çarpanı	10	Moment Kolu Çarpanı	10
İlk Okuma (29.11.2022)	500	İlk Okuma (29.11.2022)	1000	İlk Okuma (29.11.2022)	500	İlk Okuma (29.11.2022)	500
30.11.2022	2 kg 498	1.12.2022	2 kg 997	1.12.2022	1 kg 483	1.12.2022	1 kg 500
1.12.2022	4 kg 485	2.12.2022	3 kg 988	2.12.2022	2 kg 477	2.12.2022	2 kg 492
2.12.2022	8 kg 454	3.12.2022	4 kg 982	3.12.2022	3 kg 465	3.12.2022	4 kg 473
3.12.2022	16 kg 394	5.12.2022	6 kg 966	5.12.2022	4 kg 452	5.12.2022	8 kg 431
5.12.2022	32 kg 314	6.12.2022	8 kg 952	6.12.2022	6 kg 429	6.12.2022	16 kg 367
6.12.2022	16 kg 330	7.12.2022	16 kg 889	7.12.2022	16 kg 337	7.12.2022	32 kg 289
7.12.2022	8 kg 352	8.12.2022	32 kg 812	8.12.2022	32 kg 251	8.12.2022	16 kg 304
8.12.2022	4 kg 377	9.12.2022	16 kg 829	9.12.2022	16 kg 268	9.12.2022	8 kg 325
9.12.2022	2 kg 402	10.12.2022	8 kg 852	10.12.2022	8 kg 290	10.12.2022	4 kg 350
Başlangıç Su İçeriği, W_0 (%)	33,61	11.12.2022	4 kg 875	11.12.2022	4 kg 314	11.12.2022	2 kg 370
Başlangıç Boşluk Oranı, e_0	1,4469	12.12.2022	2 kg 899	12.12.2022	2 kg 337	12.12.2022	1 kg 390
Doğal B.H.A., γ_n (kN/m ³)	18,83	Başlangıç Su İçeriği, W_0 (%)	34,09	Başlangıç Su İçeriği, W_0 (%)	38,16	Başlangıç Su İçeriği, W_0 (%)	37,65
Numune Kuru Ağırlığı (g)	42,53	Başlangıç Boşluk Oranı, e_0	1,5161	Başlangıç Boşluk Oranı, e_0	1,7072	Başlangıç Boşluk Oranı, e_0	1,9414
Kuru B.H.A., γ_d (kN/m ³)	13,89	Doğal B.H.A., γ_n (kN/m ³)	18,50	Doğal B.H.A., γ_n (kN/m ³)	18,57	Doğal B.H.A., γ_n (kN/m ³)	16,49
Eşdeğer Tane Yükl., H_s (mm)	8,1737	Numune Kuru Ağırlığı (g)	41,36	Numune Kuru Ağırlığı (g)	38,44	Numune Kuru Ağırlığı (g)	35,38
Başl. Doygunluk D., S_r (%)	61,56	Kuru B.H.A., γ_d (kN/m ³)	13,59	Kuru B.H.A., γ_d (kN/m ³)	13,11	Kuru B.H.A., γ_d (kN/m ³)	11,75
Sıkışma İndisi (Lab. Eğrisi), C_c	0,28793	Eşdeğer Tane Yükl., H_s (mm)	7,9489	Eşdeğer Tane Yükl., H_s (mm)	7,3877	Eşdeğer Tane Yükl., H_s (mm)	6,7996
Sıkışma İndisi (Bakir Eğri), C_c	0,30443	Başl. Doygunluk D., S_r (%)	59,59	Başl. Doygunluk D., S_r (%)	59,24	Başl. Doygunluk D., S_r (%)	51,39
		Sıkışma İndisi (Lab. Eğrisi), C_c	0,29898	Sıkışma İndisi (Lab. Eğrisi), C_c	0,35767	Sıkışma İndisi (Lab. Eğrisi), C_c	0,34465
		Sıkışma İndisi (Bakir Eğri), C_c	0,31748	Sıkışma İndisi (Bakir Eğri), C_c	0,38244	Sıkışma İndisi (Bakir Eğri), C_c	0,36045

Şekil 5.3. Konsolidasyon deneylerinden elde edilen $e - \log P$ grafikleri

Çizelge 5.5. Konsolidasyon deneyi verileri kullanılarak hesaplanan zemin parametreleri

Numune - 1											
Yük (kg)	Basınç, P (kg/cm ²)	Okuma (10 ⁻² mm)	Okuma Farkı (mm)	Numune Yüksekliği, H_{son} (mm)	Boşluk Yüksekliği, H_0 (mm)	Boşluk oranı, e_n	Boşluk Oranı Farkları, Δe	Basınç Farkları, ΔP (kg/cm ²)	Sıkışma Katsayısı, a_v (cm ² /kg)	Hacimsel Sıkışma İndisi, m_v (cm ² /kg)	
0,0	0,00	500,0	0,000	20,000	11,8263	1,4469	0,0000	0,00	0,00000	0,00000	
20,0	1,02	498,0	0,020	19,980	11,8063	1,4444	0,0024	1,02	0,00240	0,00098	
40,0	2,04	485,0	0,130	19,850	11,6763	1,4285	0,0159	1,02	0,01561	0,00643	
80,0	4,07	453,5	0,315	19,535	11,3613	1,3900	0,0385	2,04	0,01892	0,00792	
160,0	8,15	394,0	0,595	18,940	10,7663	1,3172	0,0728	4,07	0,01787	0,00771	
320,0	16,30	314,0	0,800	18,140	9,9663	1,2193	0,0979	8,15	0,01201	0,00541	
160,0	8,15	329,8	-0,158	18,298	10,1243	1,2386	-0,0193	8,15			
80,0	4,07	352,0	-0,222	18,520	10,3463	1,2658	-0,0272	4,07			
40,0	2,04	377,0	-0,250	18,770	10,5963	1,2964	-0,0306	2,04			
20,0	1,02	402,0	-0,250	19,020	10,8463	1,3270	-0,0306	1,02			

Numune - 2											
Yük (kg)	Basınç, P (kg/cm ²)	Okuma (10 ⁻² mm)	Okuma Farkı (mm)	Numune Yüksekliği, H_{son} (mm)	Boşluk Yüksekliği, H_0 (mm)	Boşluk oranı, e_n	Boşluk Oranı Farkları, Δe	Basınç Farkları, ΔP (kg/cm ²)	Sıkışma Katsayısı, a_v (cm ² /kg)	Hacimsel Sıkışma İndisi, m_v (cm ² /kg)	
0,0	0,00	1000,0	0,000	20,000	12,0511	1,5161	0,0000	0,00	0,00000	0,00000	
20,0	1,02	997,0	0,030	19,970	12,0211	1,5123	0,0038	1,02	0,00371	0,00147	
30,0	1,53	988,0	0,090	19,880	11,9311	1,5010	0,0113	0,51	0,02223	0,00889	
40,0	2,04	982,0	0,060	19,820	11,8711	1,4934	0,0075	0,51	0,01482	0,00594	
60,0	3,06	966,0	0,160	19,660	11,7111	1,4733	0,0201	1,02	0,01976	0,00799	
80,0	4,07	952,1	0,139	19,521	11,5721	1,4558	0,0175	1,02	0,01717	0,00699	
160,0	8,15	889,0	0,631	18,890	10,9411	1,3764	0,0794	4,07	0,01948	0,00820	
320,0	16,30	812,0	0,770	18,120	10,1711	1,2796	0,0969	8,15	0,01189	0,00521	
160,0	8,15	828,8	-0,168	18,288	10,3391	1,3007	-0,0211	8,15			
80,0	4,07	851,5	-0,227	18,515	10,5661	1,3293	-0,0286	4,07			
40,0	2,04	874,5	-0,230	18,745	10,7961	1,3582	-0,0289	2,04			
20,0	1,02	899,0	-0,245	18,990	11,0411	1,3890	-0,0308	1,02			

Numune - 3											
Yük (kg)	Basınç, P (kg/cm ²)	Okuma (10 ⁻² mm)	Okuma Farkı (mm)	Numune Yüksekliği, H_{son} (mm)	Boşluk Yüksekliği, H_0 (mm)	Boşluk oranı, e_n	Boşluk Oranı Farkları, Δe	Basınç Farkları, ΔP (kg/cm ²)	Sıkışma Katsayısı, a_v (cm ² /kg)	Hacimsel Sıkışma İndisi, m_v (cm ² /kg)	
0,0	0,00	500,0	0,000	20,000	12,6123	1,7072	0,0000	0,00	0,00000	0,00000	
10,0	0,51	483,0	0,170	19,830	12,4423	1,6842	0,0230	0,51	0,04518	0,01683	
20,0	1,02	477,0	0,060	19,770	12,3823	1,6761	0,0081	0,51	0,01595	0,00596	
30,0	1,53	465,0	0,120	19,650	12,2623	1,6598	0,0162	0,51	0,03189	0,01199	
40,0	2,04	452,0	0,130	19,520	12,1323	1,6422	0,0176	0,51	0,03455	0,01308	
60,0	3,06	429,2	0,228	19,292	11,9043	1,6114	0,0309	1,02	0,03030	0,01160	
80,0	4,07	404,0	0,252	19,040	11,6523	1,5773	0,0341	1,02	0,03349	0,01299	
160,0	8,15	337,0	0,670	18,370	10,9823	1,4866	0,0907	4,07	0,02226	0,00895	
320,0	16,30	251,0	0,860	17,510	10,1223	1,3702	0,1164	8,15	0,01429	0,00603	
160,0	8,15	267,5	-0,165	17,675	10,2873	1,3925	-0,0223	8,15			
80,0	4,07	290,0	-0,225	17,900	10,5123	1,4230	-0,0305	4,07			
40,0	2,04	314,0	-0,240	18,140	10,7523	1,4554	-0,0325	2,04			
20,0	1,02	337,0	-0,230	18,370	10,9823	1,4866	-0,0311	1,02			
10,0	0,51	358,5	-0,215	18,585	11,1973	1,5157	-0,0291	0,51			

Numune - 4											
Yük (kg)	Basınç, P (kg/cm ²)	Okuma (10 ⁻² mm)	Okuma Farkı (mm)	Numune Yüksekliği, H_{son} (mm)	Boşluk Yüksekliği, H_0 (mm)	Boşluk oranı, e_n	Boşluk Oranı Farkları, Δe	Basınç Farkları, ΔP (kg/cm ²)	Sıkışma Katsayısı, a_v (cm ² /kg)	Hacimsel Sıkışma İndisi, m_v (cm ² /kg)	
0,0	0,00	500,0	0,000	20,000	13,2004	1,9414	0,0000	0,00	0,00000	0,00000	
10,0	0,51	500,0	0,000	20,000	13,2004	1,9414	0,0000	0,51	0,00000	0,00000	
20,0	1,02	492,0	0,080	19,920	13,1204	1,9296	0,0118	0,51	0,02310	0,00789	
40,0	2,04	473,0	0,190	19,730	12,9304	1,9016	0,0279	1,02	0,02743	0,00945	
80,0	4,07	431,0	0,420	19,310	12,5104	1,8399	0,0618	2,04	0,03032	0,01068	
160,0	8,15	366,5	0,645	18,665	11,8654	1,7450	0,0949	4,07	0,02328	0,00848	
320,0	16,30	288,5	0,780	17,885	11,0854	1,6303	0,1147	8,15	0,01408	0,00535	
160,0	8,15	304,0	-0,155	18,040	11,2404	1,6531	-0,0228	8,15			
80,0	4,07	324,5	-0,205	18,245	11,4454	1,6833	-0,0301	4,07			
40,0	2,04	349,7	-0,252	18,497	11,6974	1,7203	-0,0371	2,04			
20,0	1,02	369,5	-0,198	18,695	11,8954	1,7494	-0,0291	1,02			
10,0	0,51	390,0	-0,205	18,900	12,1004	1,7796	-0,0301	0,51			

5.3. Yatak Katsayısının Hesaplanması

Yatak katsayısının hesaplanabilmesi için temel kısa kenarı (B), temelin uzun kenarı (L), zeminin Poisson oranı (ν_s), betonun elastisite modülü (E_b), temelin atalet momenti (I_b),

zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ), zeminin kohezyonu (c), zeminin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), temel derinliği (D_f) ve zeminin elastisite modülü (E_s) değerlerine ihtiyaç vardır. Bu parametreler yukarıdaki bölümlerde verildiği gibi bu çalışma kapsamında elde edilmiş olup Çizelge 5.6’te toplu halde sunulmuştur.

Çizelge 5.6. Zemine ve radye temele ait parametreler

Temelin Kısa Kenarı, B (m)	9,70
Temelin Uzun Kenarı, L (m)	17,0
Poisson Oranı, ν_s	0,4
Temelin Elastisite Modülü, E_b (kPa)	26000000
Temelin Atalet Momenti, I_b (m ⁴)	0,413867
Zeminin İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	11,0
Zeminin Kohezyonu, c (kPa)	42,0
Zeminin Doğal Birim Hacim Ağırlığı, γ_n (kN/m ³)	16,48
Temel Derinliği, D_f (m)	2,80
Temelin Eğimi (°)	0,00
Temel Betonunun Tasarım Basınç Dayanımı, f_{cd} (MPa)	16,67
Temel Donatısının Tasarım Çekme Dayanımı, F_{yd} (MPa)	365,22

Zeminin elastisite modülü için başlangıç elastisite modülü kullanılmış olup, her hücre basıncı için ayrı ayrı hesaplanan başlangıç elastisite modülü değerleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.7. Zeminin elastisite modülü değerleri

Hücre Basıncı	Başlangıç Elastisite Modülü, E_i (kPa)
50 kPa	7000
100 kPa	14000
150 kPa	16250

Bu veriler kullanılarak Bölüm 2’de verilen bağıntılarla yatak katsayısı değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.7’de sunulmuştur. Üç eksenli basınç deneyinde uygulanan 3 farklı hücre basıncı için 3 farklı elastisite modülü bulunduğu için, bu elastisite modüllerinin her birisi için ayrı ayrı yatak katsayısı değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.8. Çeşitli yöntemlerle hesaplanan zemin yatak katsayıları

Yöntemler	Zemin Yatak Katsayısı		
	$E_i = 7000 \text{ kPa}$	$E_i = 14000 \text{ kPa}$	$E_i = 16250 \text{ kPa}$
Biot (1937)	1005 kPa	2166 kPa	2555 kPa
Terzaghi (1955)	186 kPa	371 kPa	431 kPa
Vesic (1961)	646 kPa	1369 kPa	1609 kPa
Meyerhof ve Baiki (1963)	859 kPa	1718 kPa	1994 kPa
Scott (1981)	21600 kPa	21600 kPa	21600 kPa
Bowles - 1 (1996)	788 kPa	1575 kPa	1828 kPa
Bowles - 2 (1996)	26470 kPa	26470 kPa	26470 kPa
Unutmaz (2019)	461 kPa	923 kPa	1071 kPa

Çizelge 5.7’den görülebileceği gibi aynı zemin için farklı yaklaşımlarla hesaplanan yatak katsayısı değerleri çok geniş bir aralıkta (186 – 26470 kPa arasında) değişebilmektedir. Bu çalışmada yatak katsayısının radye temel tasarımına olan etkisi incelenmiş olup bu amaçla konut tipi bir yapı tasarlanmış ve bu yapının radye temel tasarımının değişen zemin yatak katsayısı değerlerinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

6. YAPISAL ANALİZLER

Bu bölümde daha önce konu edilen yapı projesinin nasıl modellendiğini ve analizlerinin nasıl yapıldığı ele alınmıştır. Yapılan analizler ve analizler yapılırken kullanılan parametrelerden ilerleyen bölümlerde bahsedilecektir.

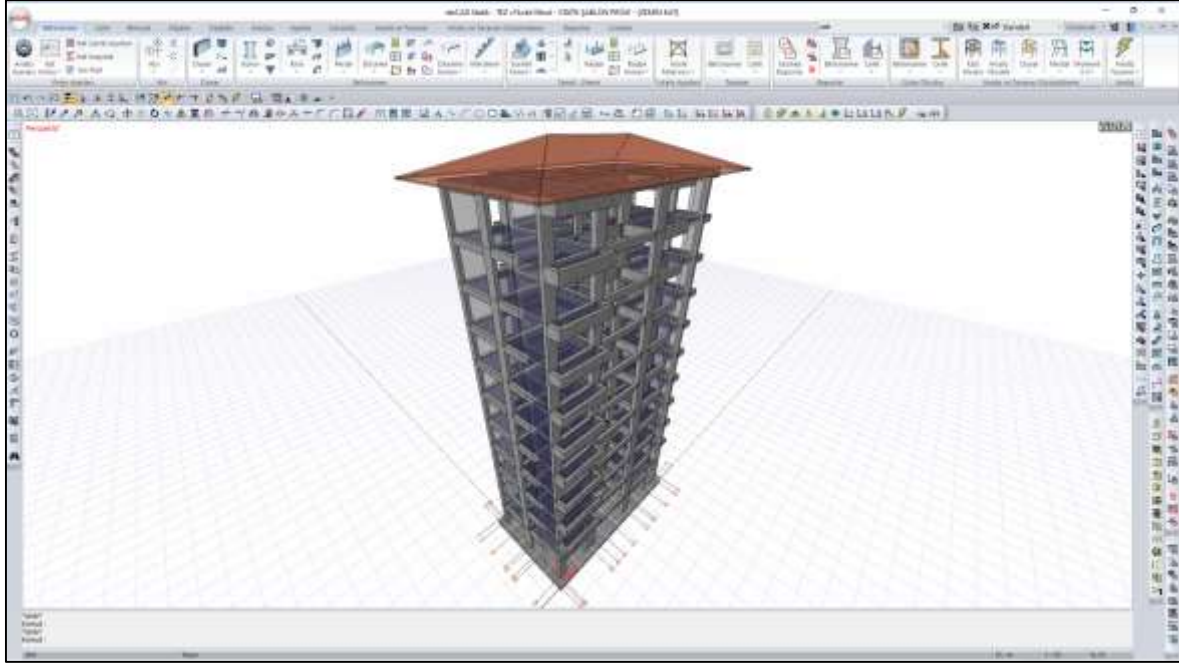
6.1. Yapıya Ait Bilgiler

Modellenen yapı konut tipi bir yapı olup 1 bodrum kat, 1 zemin kat ve 9 normal kat olmak üzere toplam 11 kattan oluşmaktadır. Bodrum kat perde duvarlarla çevrili olmayıp, diğer normal katlar gibi bölme duvarlar kullanılmıştır. Bu bakımdan binada rijit bodrum bulunmamaktadır. Kat yükseklikleri 3 metredir ve toplam yapı yüksekliği temel kalınlığı dahil 33,8 metredir. Temel sistemi olarak radye temel seçilmiştir. Temelin uzun kenarı 17 metre, kısa kenarı 9,70 metredir. Temel kalınlığı ise 80 cm'dir. Yapı oturma alanı 165 m² olarak hesaplanmıştır. Yapı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e ve TS500'e uygun olarak modellenmiştir. Yapının konumu Ankara, Yenimahalle, Emniyet Mahallesi, Boğaziçi Caddesi'nde, enlem 39.938962 ve boylam 32.818856 olacak şekilde seçilmiştir. Yapı temel derinliği 2,80 metredir. Yapının tamamı C25/30 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı çeliği ile betonarme bir bina olarak modellenmiştir.

6.2. Yapısal Model ve Analiz

Yapının analizinde ideCAD programının 10.94 versiyonu kullanılmıştır. Öncelikle modellenecek yapının taşıyıcı sistemi olarak perde ve çerçevesi karma sistem seçilmiştir. Kolon boyutları TBDY 2018 Madde 7.3.1.1'e göre 300 mm'den küçük olmayacak şekilde tasarlanmıştır. TBDY 2018 Madde 7.6.1.3'te belirtildiği üzere perde alanları kat alanının % 0,2'sinden büyük, kat yüksekliğinin 1/20'sinden büyük ve kalınlığı 200 mm'den büyük olacak şekilde yapıya eklenmiştir. Kirişler TBDY 2018 Madde 7.4.1.1'de belirtildiği üzere genişliği 250 mm'den büyük olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş üzerlerine dış duvarlar için 19 cm kalınlığında tuğla duvar (0,32 tf/m²), iç duvarlar için 13 cm kalınlığında tuğla duvar (0,25 tf/m²) yükleri etkilerek tasarlanmıştır. TS 500 Madde 10.4.2'de belirtildiği üzere temelde minimum plak kalınlığı 300 mm'den az olmayacak şekilde 800 milimetre olarak tasarlanmıştır. Döşeme kalınlıkları TS 500 Madde 11.4.2 ve 11.2.2'ye göre seçilmiştir.

Döşemelerde ölü yük, mahalline göre marley kaplama ($0,148 \text{ tf/m}^2$) veya fayans kaplama ($0,17 \text{ tf/m}^2$) seçilmiş ve hareketli yük balkonlarda $0,5 \text{ tf/m}^2$, diğer döşemelerde $0,2 \text{ tf/m}^2$ olarak seçilmiştir. Binada kırma çatı kullanılmış ve çatı iskeleti ahşap malzemeden tasarlanmıştır. Çatı kaplaması olarak kiremit seçilmiştir. ideCAD programında modellenen yapının 3 boyutlu görüntüsü Resim 6.1’de verilmiştir.



Resim 6.1. Modellenen yapının 3 boyutlu görüntüsü

Yapının çözümlenmesi sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmakta olup bu yöntemin detayları programın resmi web sitesinden elde edilebilir.

Yapılan incelemeler sonucunda yapıda TBDY 2018’de yer alan yapısal düzensizliklerin bulunmadığı tespit edilmiştir.

Üst yapının analizinde deprem yükü hesaplama yöntemi olarak modal analiz seçilmiş olup TBDY 2018 Madde 4.8.2 deprem spektrumu mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. TBDY 2018 Madde 4.8.5’e göre bodrumlu binaların hesabında kullanılacak olan Madde 4.3.6.2 tek yükleme durumlu hesap yöntemi kullanılmıştır. Diyafram modelleme yöntemi olarak “Yarı Rijit Diyafram” modeli kullanılmış olup döşeme tasarımında deprem etkileri dikkate alınmıştır.

Yapıda rijit bodrum bulunmamaktadır ve rijit bodrum olmadığı için toplam yapı yüksekliği temel hariç 33 metre olarak seçilmiştir. Yapıda kullanılan çatı sistemi ahşap çatıdır ve hesaplara dahil edilmemiştir.

Deprem yükleri ve yapının deprem davranışının da hesaplanabilmesi ve aynı zamanda yapının TBDY 2018'e uygun olarak modellenebilmesi için yapının bulunduğu konum, deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfı parametreleri girilerek hesaplarda kullanılmak üzere, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s), 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_I), en büyük yer ivmesi (PGA) (g), en büyük yer hızı (PGV) (cm/s), kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}), 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DI}), yatay elastik tasarım spektrumu ve düşey elastik tasarım spektrumu verileri elde edilmiştir. Bu veriler İdeCAD programına girdi olarak verilmiş ve böylece deprem yükleri de hesaba katılarak çözümleme yapılması sağlanmıştır. Kullanılan verilerin hepsi ilerleyen bölümlerde analiz ayarları kısmında verilecektir.

Temel – zemin etkileşimli çözüm için Bölüm 4.2'de bahsedilen hem üniform yatak katsayısı hem de Çoklu Eşlenik Winkler Yay Yöntemi kullanılmıştır.

Zemini karakterize etmek amacıyla İdeCAD programına zeminin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), yatak katsayısı (k_s), taşıma gücü (q_t) değerleri girilmiştir.

6.3. Analiz Ayarları

Analiz ayarlarının yapılmasında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de verilen ilgili maddeler dikkate alınmıştır. Yönetmelik gereğince öncelikle deprem düzeyinin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada DD-2 seçilmiştir. Zira, *TBDY 2018 – Madde 3.5.1 – Tablo 3.4 (a)*'da normal performans hedefi için DD-2 seçilmesi önerilmektedir. Deprem Yer Hareket Düzeyi – 2 (DD-2), spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir.

Arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına göre zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir. TBDY 2018'de ZC zemin sınıfı “çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar” olarak tanımlanmıştır.

Zemin sınıfını seçtikten sonra yapının bulunacağı koordinatlar seçilmiş ve bu seçime göre yukarıda bahsedilen deprem parametreleri seçilmiştir. Deprem parametreleri AFAD'ın resmi sitesi olan "tdth.afad.gov.tr" web sitesi üzerinden erişilen dijital deprem haritası kullanılarak elde edilmiştir.

Daha sonra *TBDY 2018 3.1.2*'ye göre bina kullanım sınıfı, BKS=3; bina önem katsayısı, $I=1,0$ olarak seçilmiştir.

TBDY 2018 3.1.1'de tanımlanan bina kullanım sınıflarına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için *TBDY 2018 2.3.2.2*'de tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak, yönetmelikte deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak deprem tasarım sınıfları (DTS) *Tablo 3.2*'ye göre belirlenmiştir. İlgili tabloya bakıldığında ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısının, S_{DS} , 0,443 olarak hesaplandığı göz önüne alındığında Deprem Tasarım Sınıfının (DTS) "3" olacağı belirlenmiştir.

Tasarlanan binada her katın yüksekliği 3 metre olup toplamda 11 kat vardır. Bu durumda toplam yapı yüksekliği 33,80 metre olarak hesaplanmıştır.

TBDY 2018 Madde 3.3.2.1'de belirtildiği üzere deprem etkisi altına tasarlanan binalar yükseklikleri bakımından sekiz adet Bina Yükseklik Sınıfı'na (BYS) ayrılmıştır. Bu sınıflara giren binalar için *Madde 3.3.1.3* esas alınarak tanımlanan yükseklik aralıkları, *Tablo 3.2*'deki Deprem Tasarım Sınıf'larına (DTS) bağlı olarak *Tablo 3.3*'te verilmiştir. Deprem tasarım sınıfının "3" olduğu ve yapı yüksekliğinin 33,80 metre olduğu göz önüne alınarak *Tablo 3.3*'ten Bina Yükseklik Sınıfı "5" olarak belirlenmiştir.

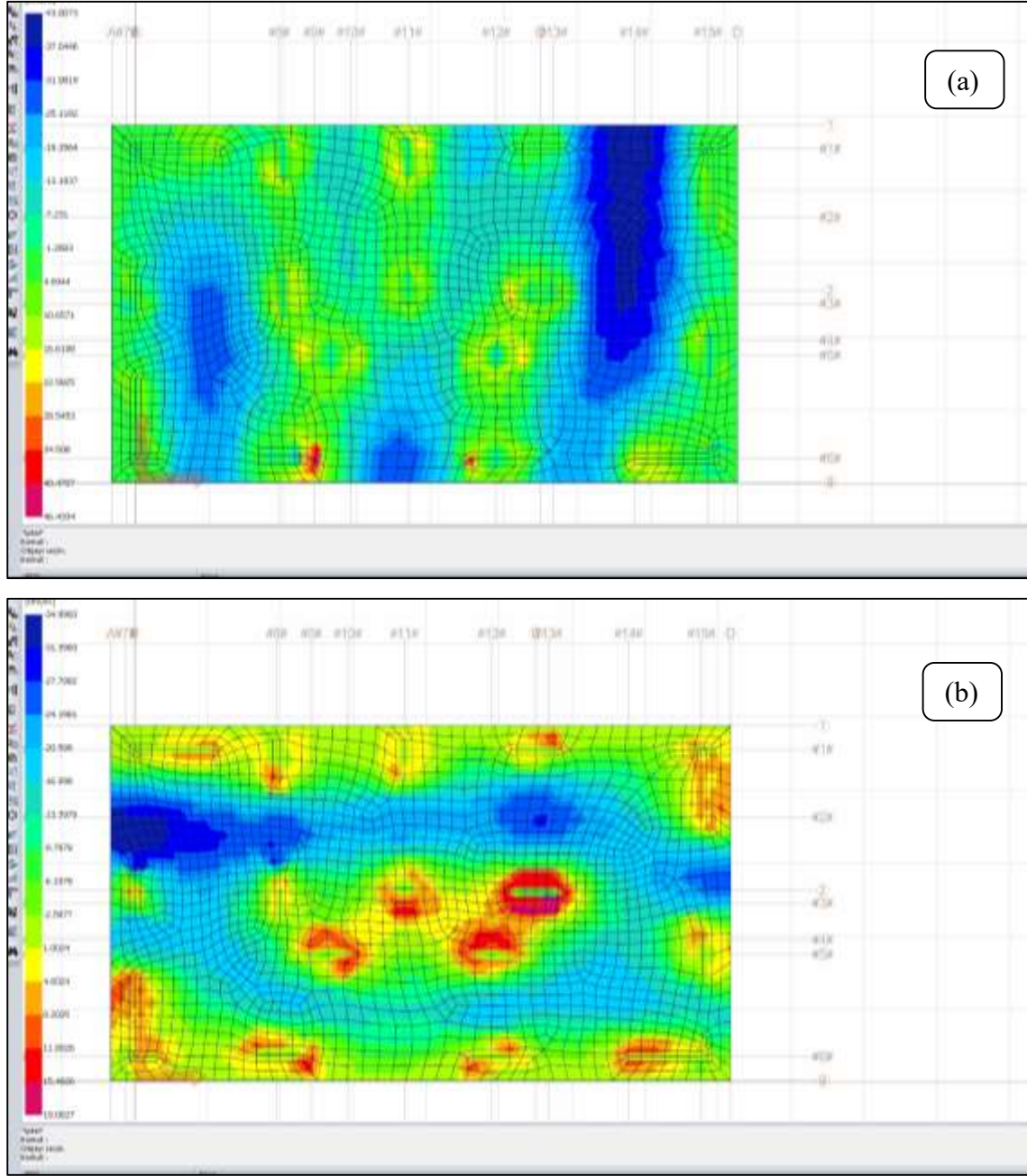
Bu aşamadan sonra binanın taşıyıcı sistem tipi seçilmiştir. Bunun için 3 adet seçenek mevcuttur. Bunlar sırasıyla betonarme, çelik ve betonarme & çelik karma taşıyıcı sistemdir. Bunlar arasından betonarme taşıyıcı sistem seçilmiştir. Devamında ise betonarme yapıda kullanılan döşeme tipi seçilmiştir. Burada da 3 seçenek bulunmakta olup bunlar sırasıyla kirişli veya kaset döşeme, tek doğrultuda çalışan dişli döşeme (nervür), kirişsiz döşeme (mantar) olarak verilmiştir. Bu üç seçenek arasından da modele uygun olarak kirişli veya kaset döşeme seçeneği seçilmiştir.

Döşeme tipi seçildikten sonra rijit diyafram modelleme yöntemi seçilmiştir. Yöntem olarak

tam rijit diyafram ve yarı rijit diyafram modeli mevcuttur. Bunların birbirinden farkı, yarı rijit diyafram modelinde döşemeler ile analiz yapılırken tam rijit diyafram modelinde döşemeler deformasyona uğramadan sisteme dahil olmalarıdır. Bu bilgidan yola çıkarak yarı rijit diyafram modelinin gerçeğe daha yakın sonuçlar vereceği değerlendirilmiş ve hesaplamalarda yarı rijit diyafram modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

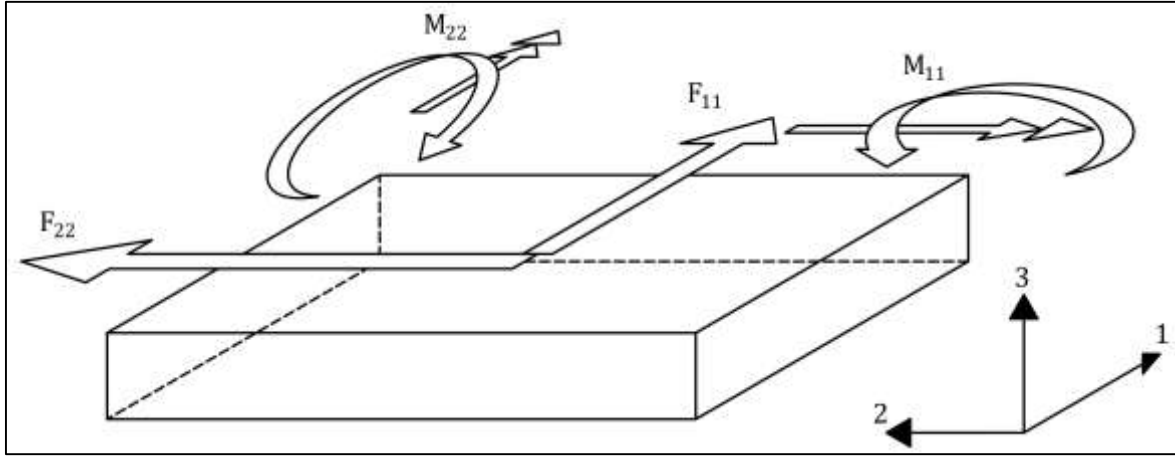
Bir sonraki aşamada ise yapının süneklik düzeyi seçilmiştir. Yapıda hem X hem de Y yönünde deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı için yüksek süneklik düzeyi seçilmiştir. Devamında gelen *Tablo 4.1*'de her iki yöne de A15 yani taşıyıcı sistem davranışı katsayısı, R , “7” dayanım fazlalığı katsayısı, D , “2,5” seçilmiştir.

Temel donatı hesabı yapılırken temel için hesap aksı çizilmesi gerekmektedir. Çizilen hesap aksından geçen momentler belirlenerek bu momentler kullanılarak TS 500'e göre minimum donatı alanı hesaplanmıştır. Hesap aksları iki yönde bir tane olacak şekilde seçilebileceği gibi birden fazla hesap aksı seçilerek daha detaylı bir donatılandırma da yapılabilir. Bu çalışmada yatay doğrultuda 4, düşey doğrultuda 6 olmak üzere toplam 10 adet hesap aksı kullanılmıştır. Kullanılan hesap akslarının yerinin belirlenmesi için önce programa girilen modele analiz edilmiş, bu analizin sonucunda temele etkiyen maksimum ve minimum momentlerin geçtiği yerler tespit edildikten sonra bu yerlerden hesap aksı geçirilmiştir. Bu amaçla yapılan analizlerin sonucunda temele etkiyen M11 ve M22 yönündeki moment dağılımları Resim 6.2'de verilmiştir.



Resim 6.2. Temele etkiyen (a) M11 ve (b) M22 yönündeki moment dağılımları

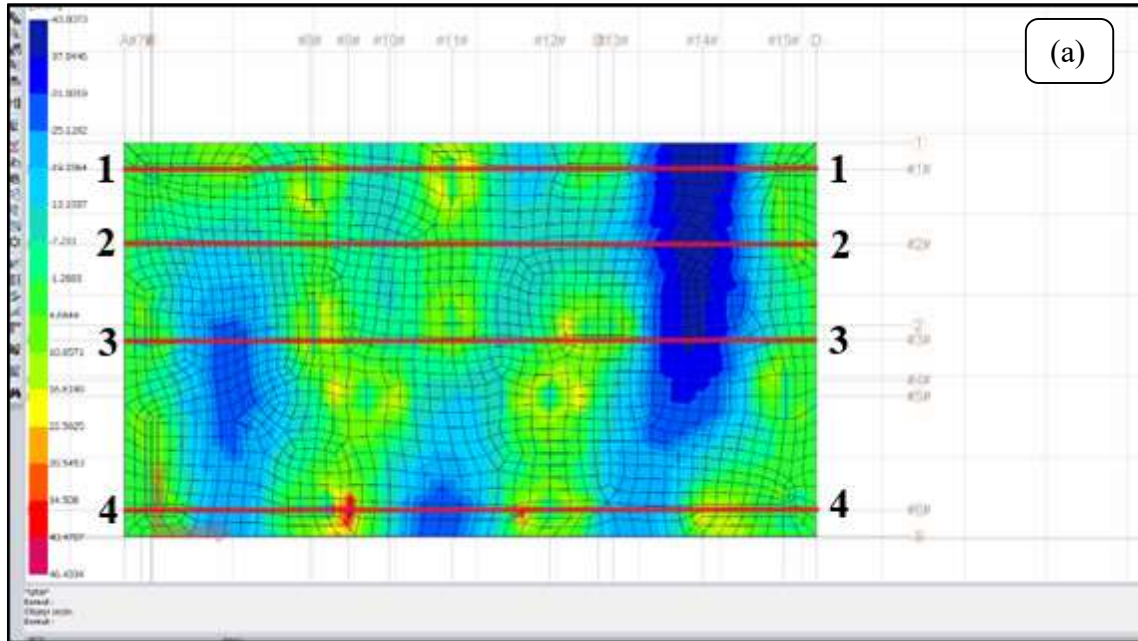
M11 ve M22 olarak adlandırılan momentlerin yönleri Resim 6.3'te gösterilmiştir.



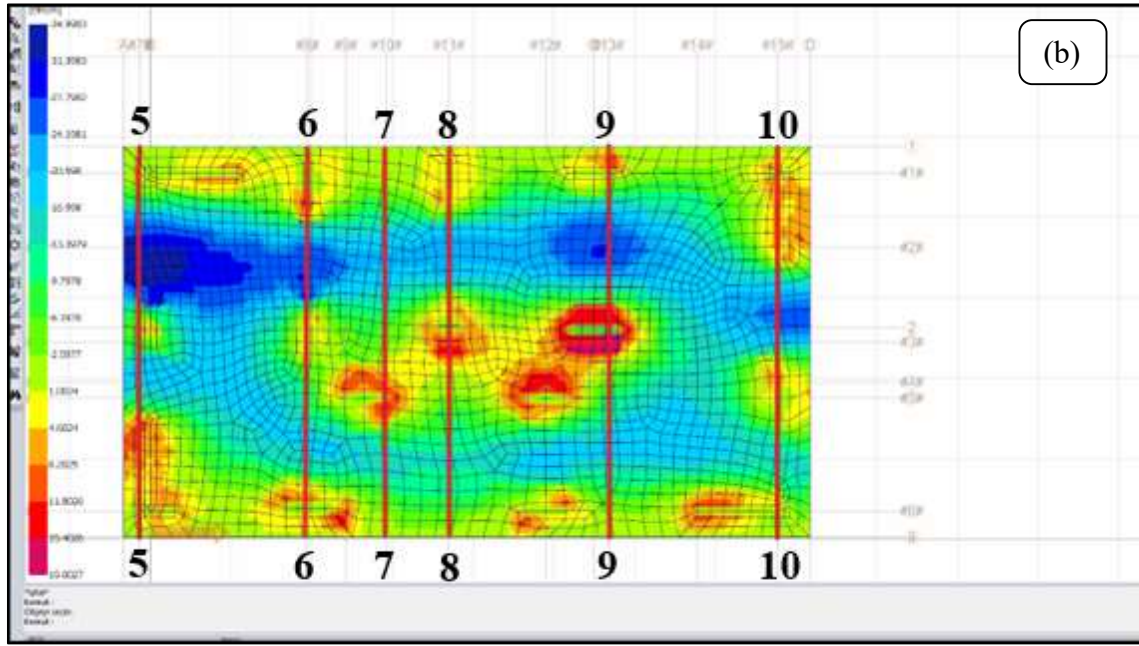
Resim 6.3. M_{11} ve M_{22} yönlü momentlerin

Zemini temsil eden farklı yatak katsayısı değerleri kullanılarak yapısal analizler tekrarlandığında moment dağılımının deseninin değişmediği sadece moment değerlerinin değiştiği görülmüştür. Bu nedenle her bir yatak katsayısı değeri için farklı bir yerden hesap aksı geçirilmesine gerek duyulmamıştır.

Yukarıdaki kriterler dikkate alınarak geçirilen hesap akslarının yerleri Resim 6.4'te sunulmuştur. Hesap akslarının geçtiği yerlerdeki moment değerleri kullanılarak temele yerleştirilecek olan donatı miktarları hesaplanmıştır.

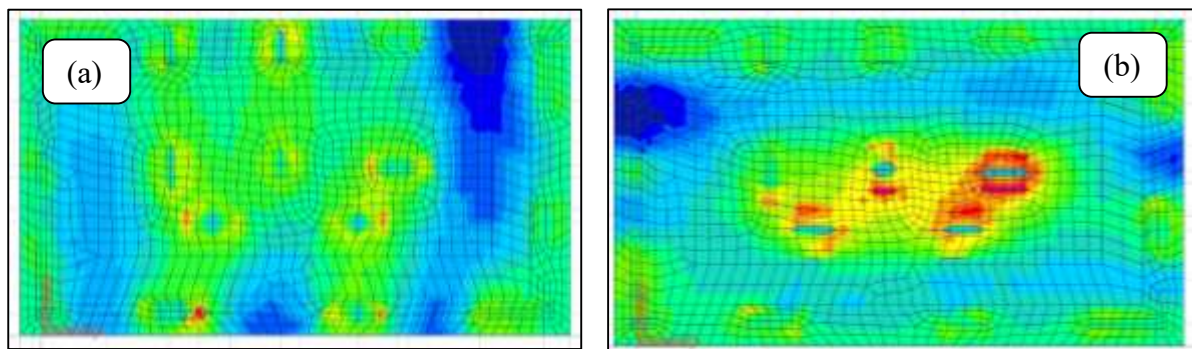


Resim 6.4. M_{11} (a) ve M_{22} (b) yönünde seçilen hesap aksları



Resim 6.4. (devam) M11 (a) ve M22 (b) yönünde seçilen hesap aksları

Resim 6.2 ve 6.4'te sonuçları görülen analizler üniform Winkler yay yöntemiyle yapılmıştır. Bununla birlikte çoklu eşlenik Winkler yay yöntemi kullanılarak da analizler yapılmış ve moment değerlerinin değiştiği, ancak maksimum ve minimum momentlerin yerlerinin (yani moment dağılımının biçiminin) değişmediği görülmüştür (Resim 6.5). Bu nedenle hesap akslarının yerlerinin değiştirilmesine gerek duyulmamıştır.



Resim 6.5. Çoklu eşlenik Winkler yöntemi kullanılarak hesaplanan (a) M11 ve (b) M22 yönündeki moment diyagramları

Yapılan analizlerde temel için zımbalama kontrolü yapılmış olup 80 cm kalınlığındaki radye temelin herhangi bir zımbalama yenilmesine uğramadığı tespit edilmiştir.

Yatak katsayısı için 50 tf/m³, 500 tf/m³, 1000 tf/m³, 2000 tf/m³, 5000 tf/m³, 10000 tf/m³, 25000 tf/m³, 50000 tf/m³ olmak üzere 8 farklı değer seçilmiş ve her bir yatak katsayısı değeri için ayrı ayrı yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Her bir yatak katsayısı için hem üniform Winkler hem de çoklu eşlenik Winkler modeli kullanılarak analiz yapılmıştır.

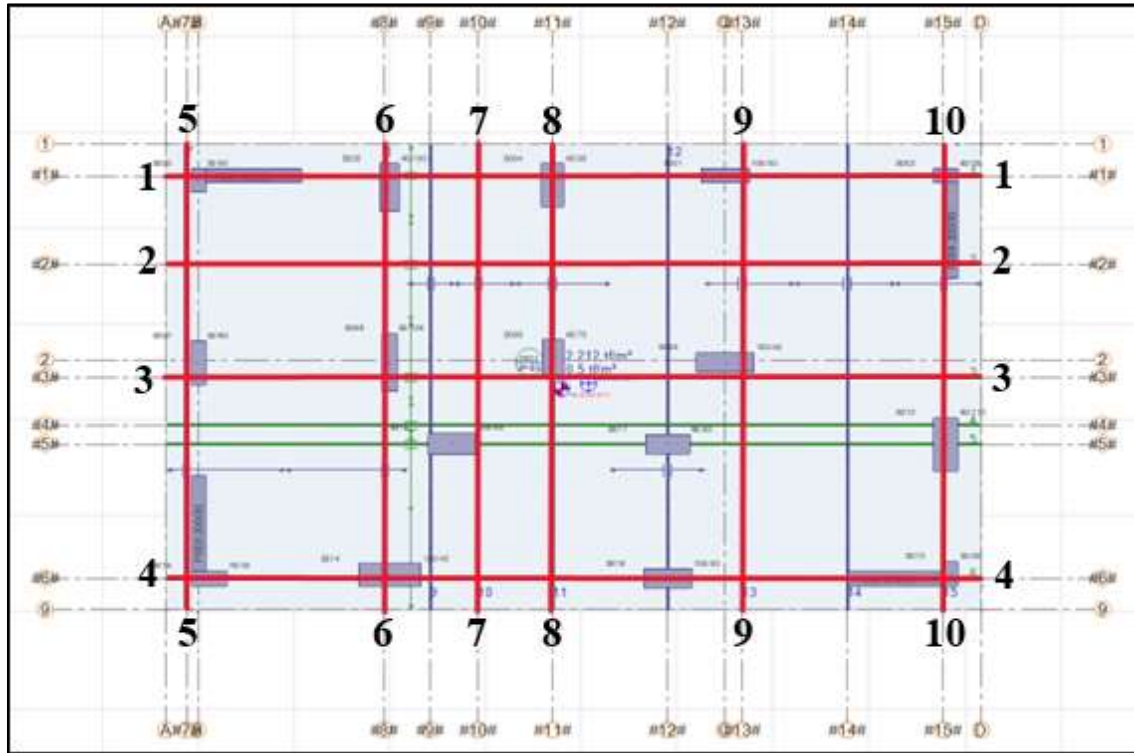
ideCAD paket programında temel donatılandırılması yapılırken TS 500'e göre maksimum donatı aralığı 200 mm'den büyük olamayacağı için momentler ne kadar büyük olursa olsun donatı metrajı çoğu durumda kayda değer bir değişiklik göstermemiş olup program tarafında hemen hemen aynı metrajlar hesaplanmıştır. Bu nedenle temele etkileyen momentler ideCAD programı ile bulunduktan sonra donatı hesapları el ile yapılmıştır. Aynı zamanda TS 500 Madde 11.4.5'te "iki doğrultuda çalışan kirişli ve kirişsiz döşemelerde, her bir doğrultuda 0,0015'ten az olmamak koşuluyla, iki doğrultudaki donatı oranlarının toplamı, S220 için 0,004, S420 ve S500 için 0,0035'ten az olamaz." denilmiştir. Bu nedenle yazılımda hesaplanan "gereken donatı alanı" çoğu zaman minimum donatı alanının üstünde çıkmaktadır. Fakat minimum donatı alanı temelde oluşan momente bağlı olduğu için daha yüksek momentlere maruz kalan temellerde durum değişebilir ve bu durumda büyük olasılıkla minimum donatı alanı TS 500'te belirtilen en az gerekli donatı alanını geçeceği için zemin yatak katsayısı değeri temel metrajında son derece kritik rol oynayacaktır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

İdeCAD programından alınan moment değerleri kullanılarak hesaplanan minimum donatı alanı ve gerekli donatı metrajı hesapları aşağıda sunulmuştur.

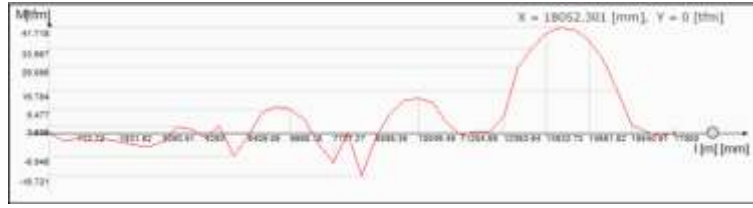
7.1. Temelde Oluşan Momentler

Temele etkiyen momentlerin hesaplanmasında kullanılan hesap aksları üniform Winkler yöntemiyle elde edilen moment diyagramları üzerinde gösterilerek Resim 7.1’de sunulmuştur.

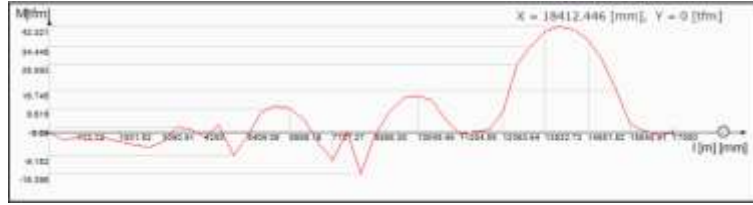


Resim 7.1. Temelde kullanılan hesap akslarının konumları

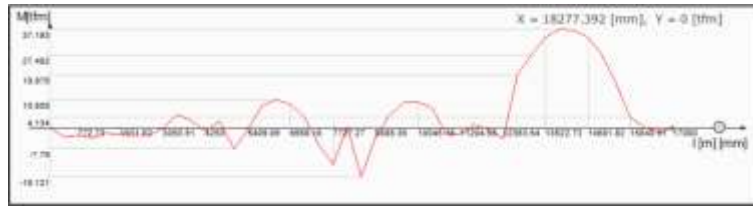
Önceden planlanan ve Bölüm 6.3’te sunulan 8 farklı yatak katsayısı kullanılarak gerçekleştirilen yapısal analizlerin sonucunda her bir hesap aksı üzerinde elde edilen moment değerleri Şekil 7.1 ila 7.20’de sunulmuştur.



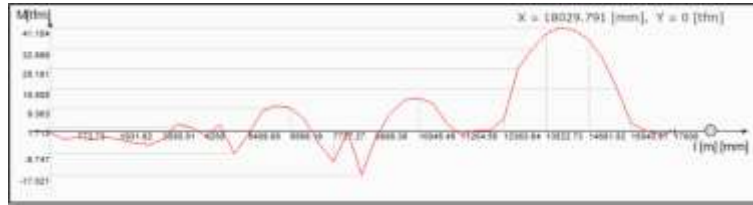
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



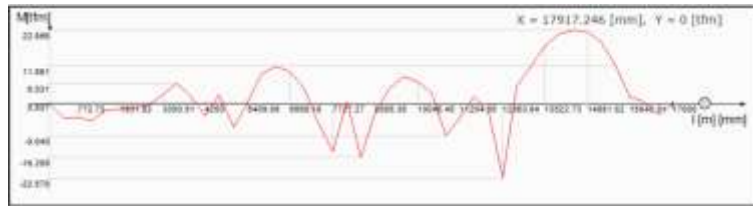
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



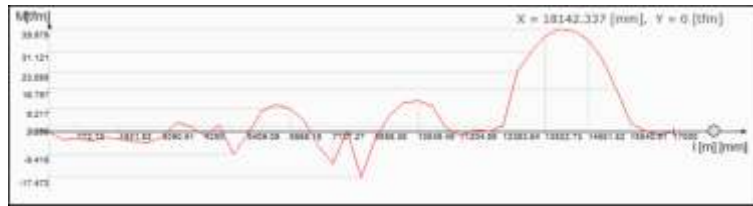
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



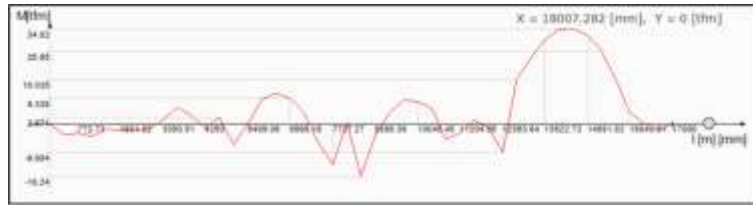
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



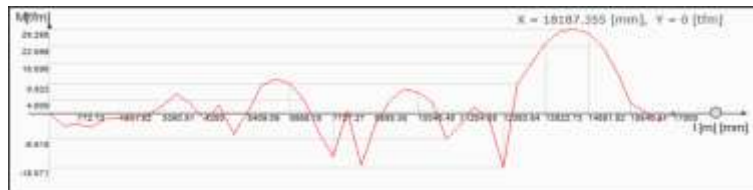
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

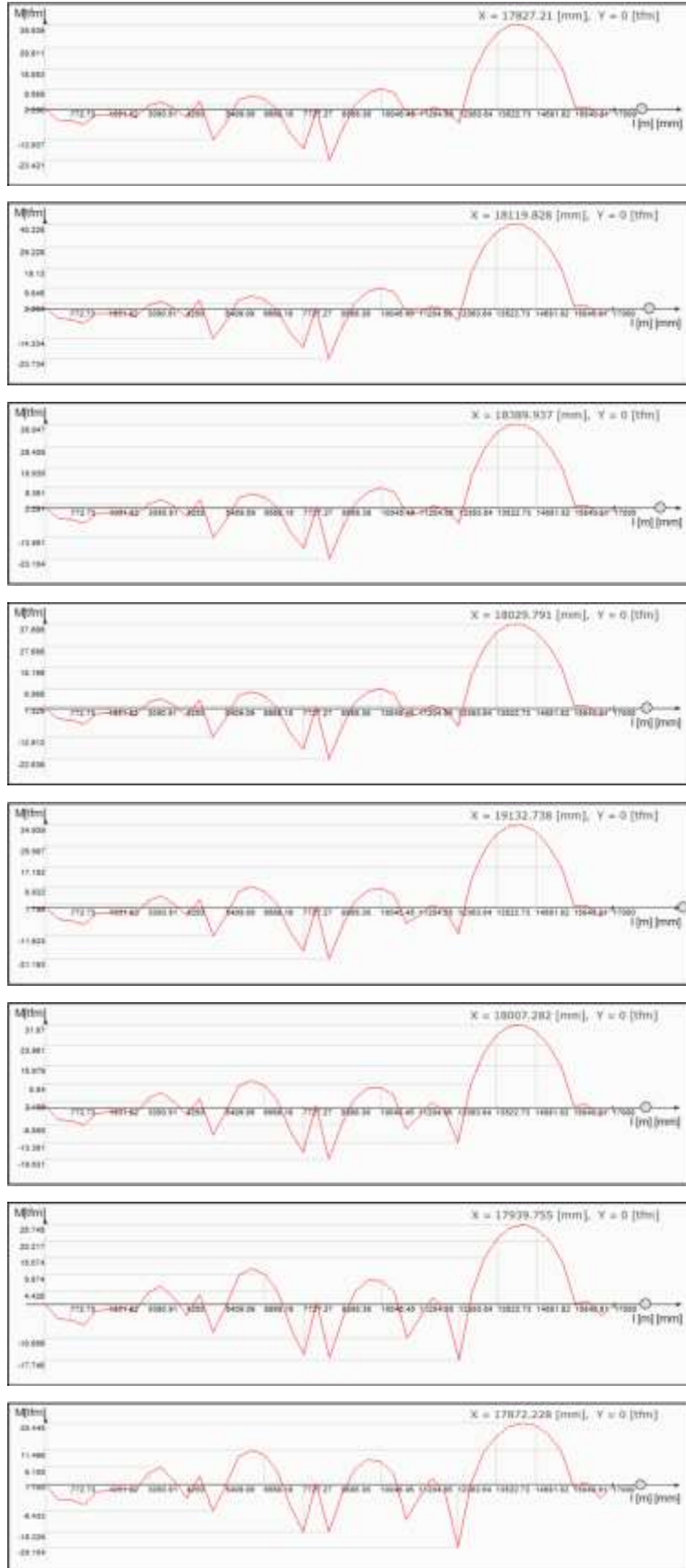


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.1. 1 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$

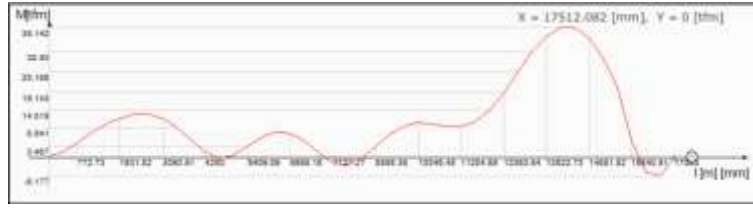
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

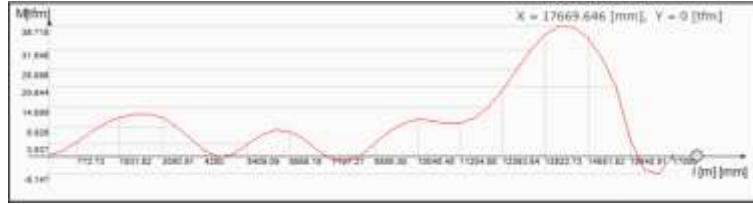
$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.2. 1 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



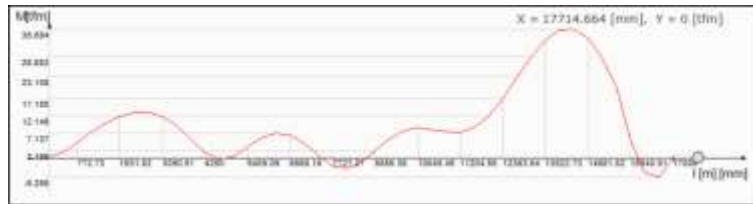
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



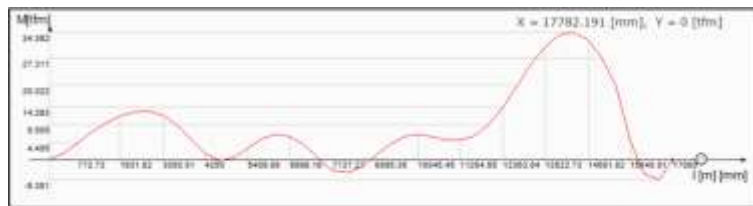
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



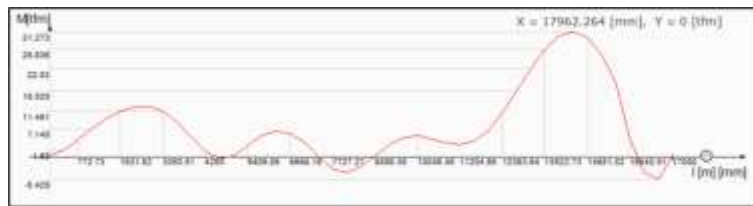
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



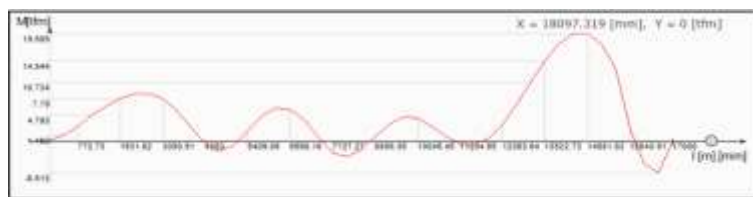
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

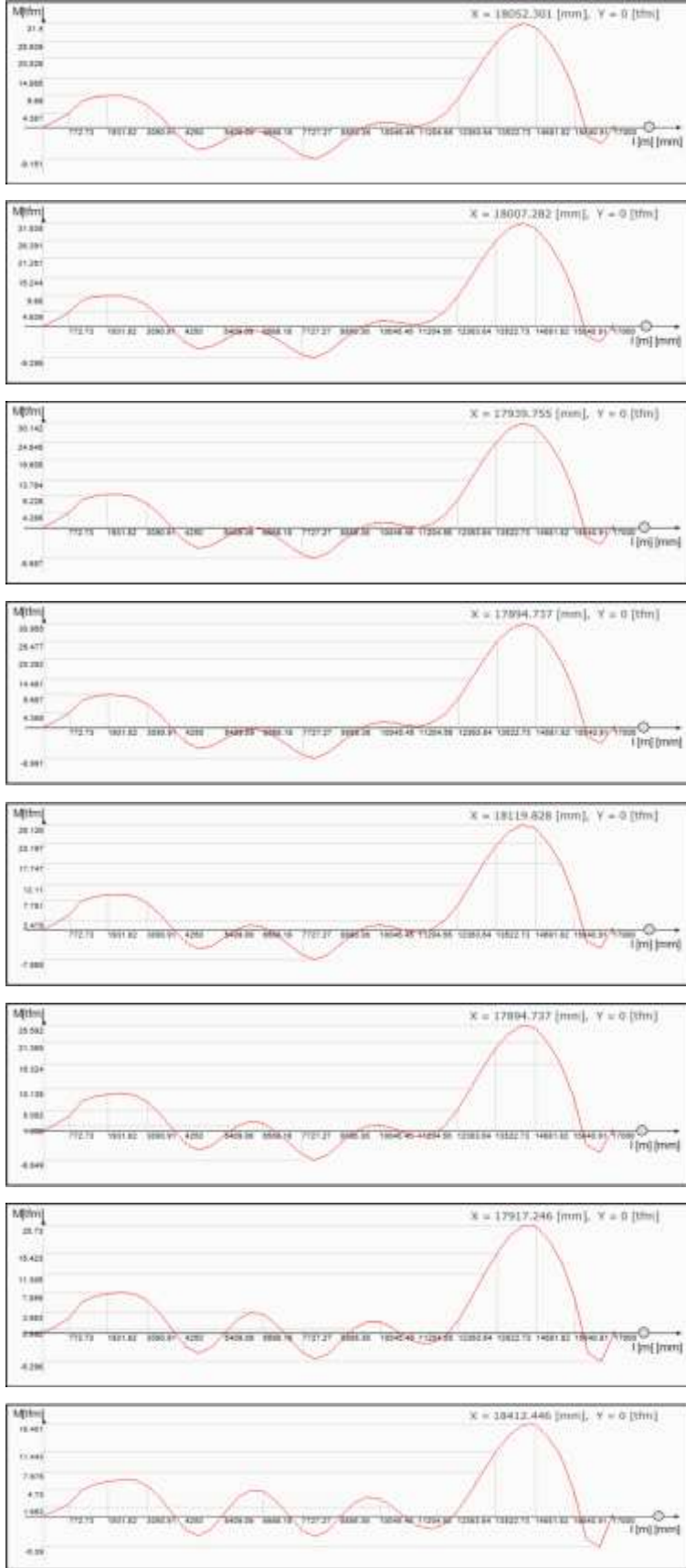


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.3. 2 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.4. 2 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



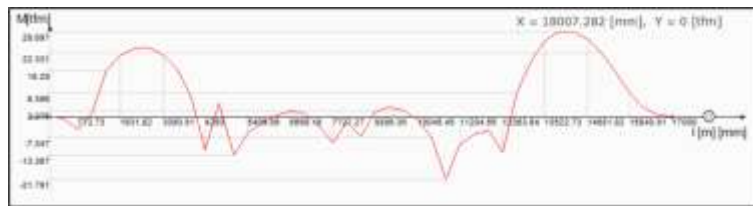
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



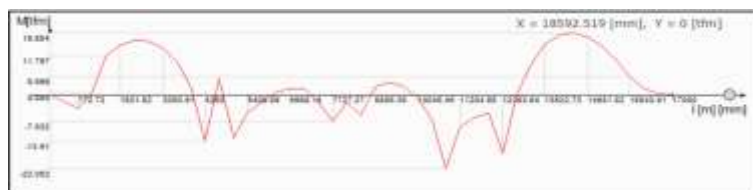
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

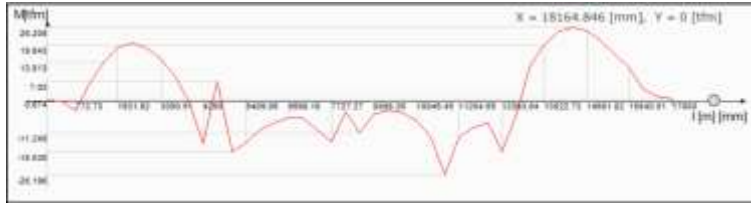


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

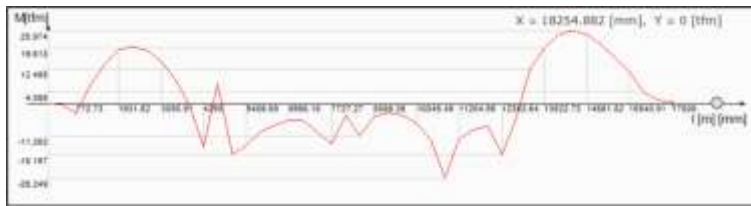
Şekil 7.5. 3 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



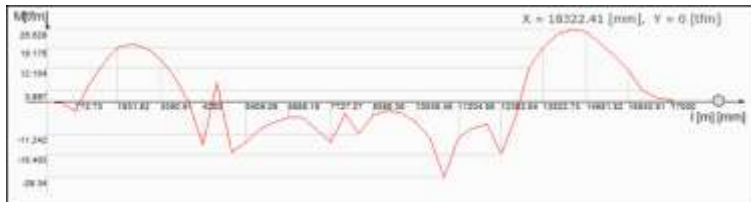
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



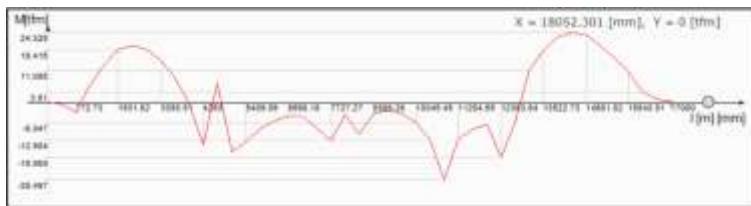
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



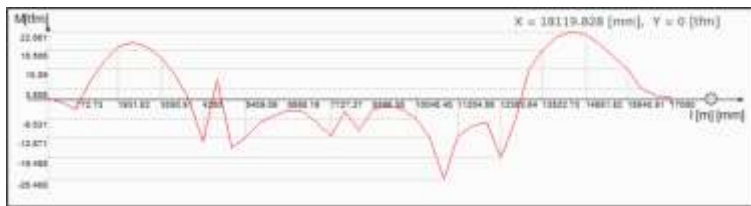
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.6. 3 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



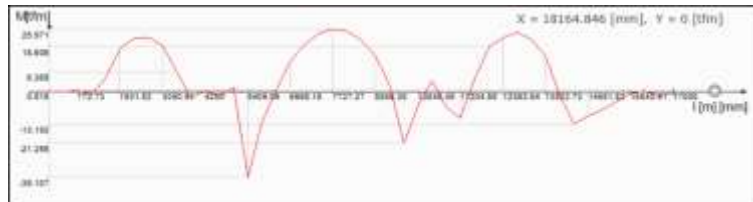
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



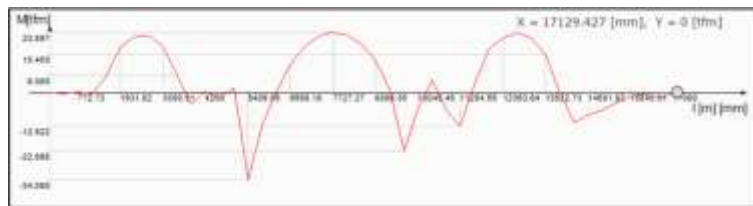
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



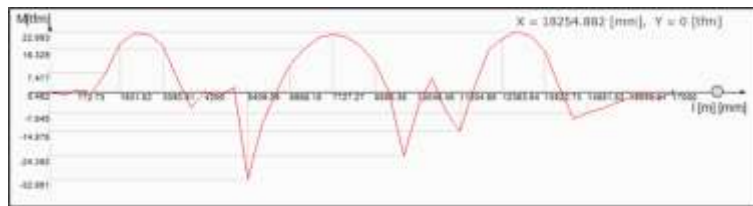
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



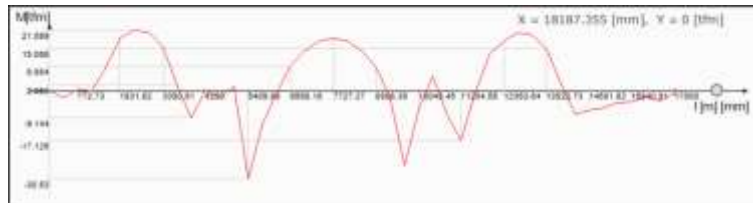
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



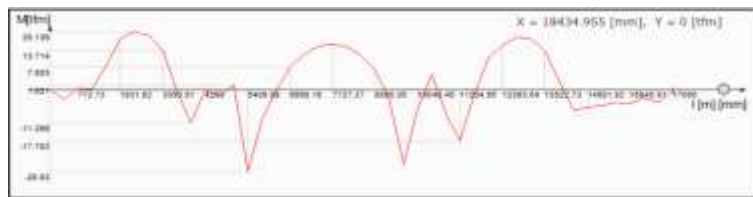
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

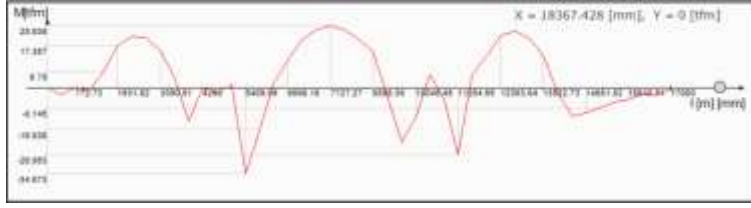


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.7. 4 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



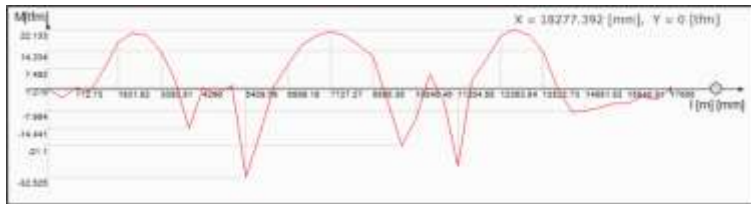
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



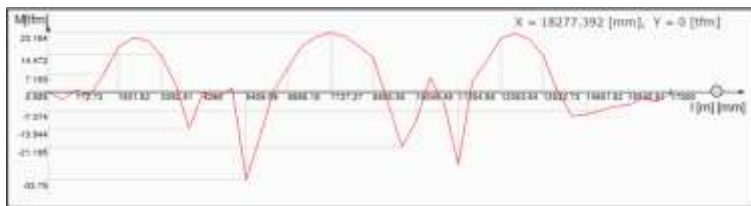
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



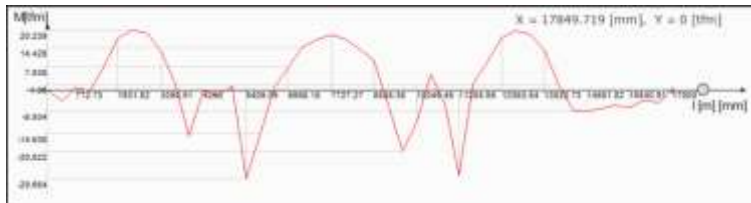
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



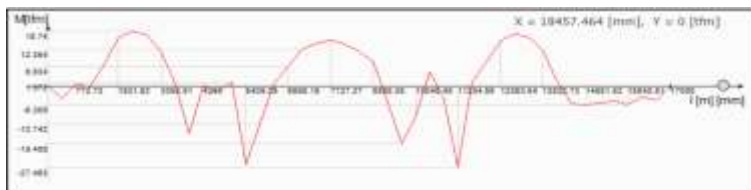
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

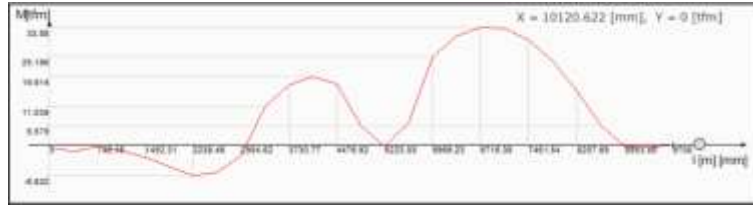


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

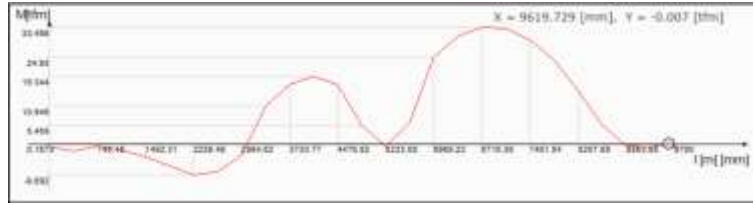


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

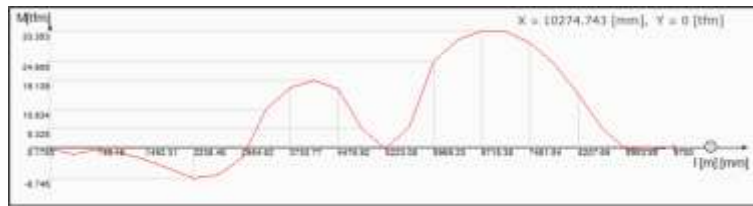
Şekil 7.8. 4 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



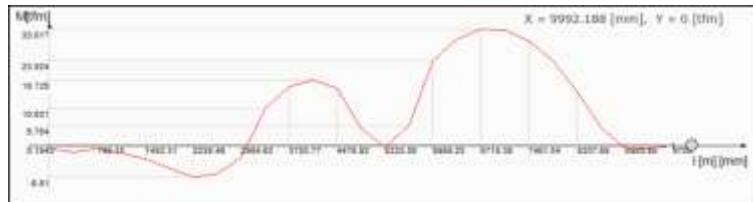
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



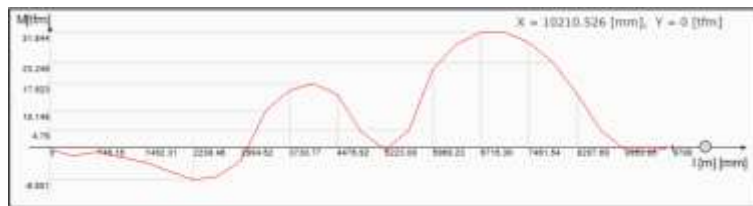
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



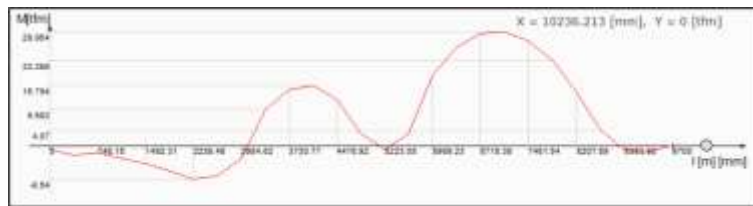
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



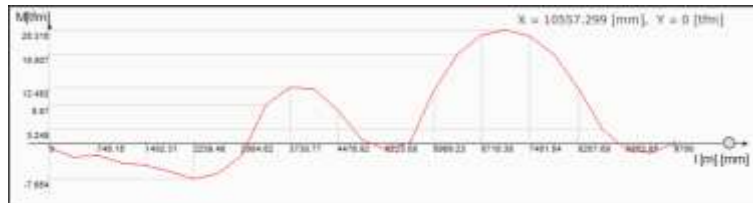
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



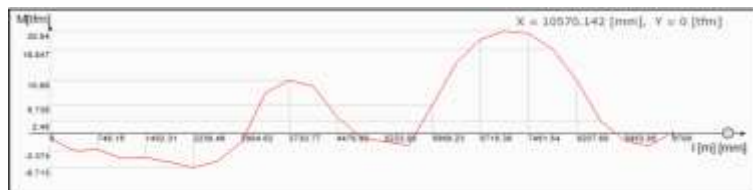
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

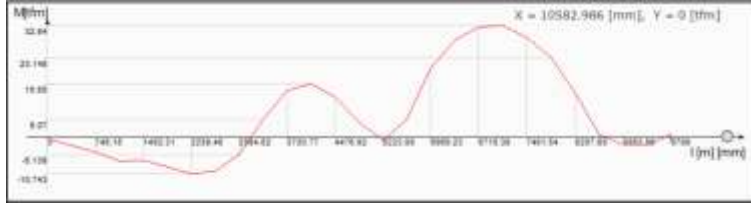


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

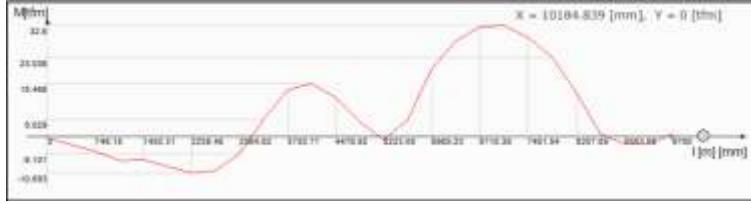


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

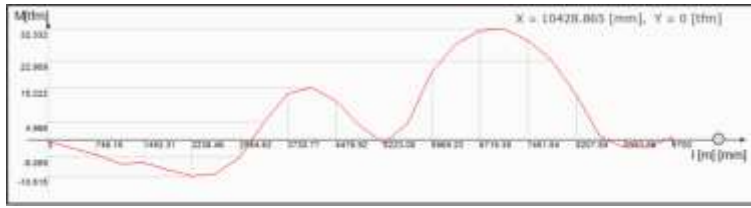
Şekil 7.9. 5 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



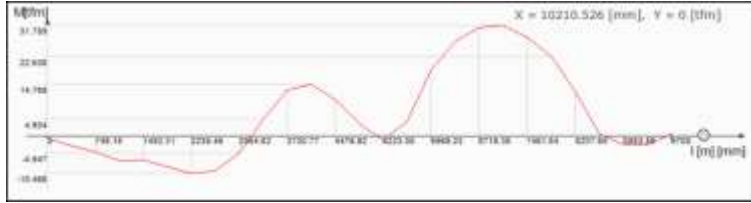
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



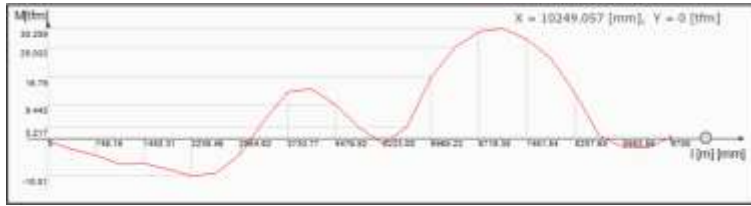
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



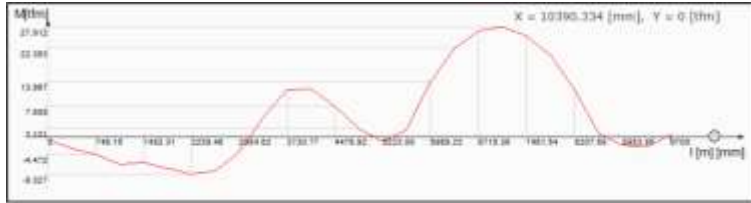
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

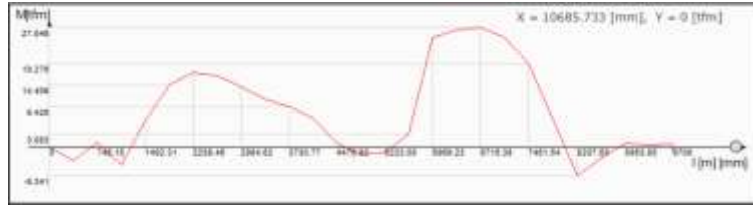


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

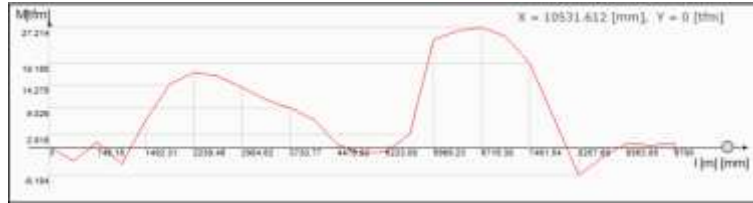


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

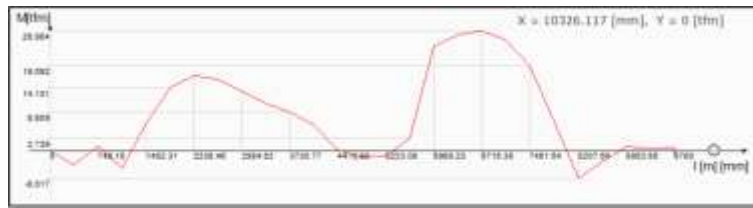
Şekil 7.10. 5 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



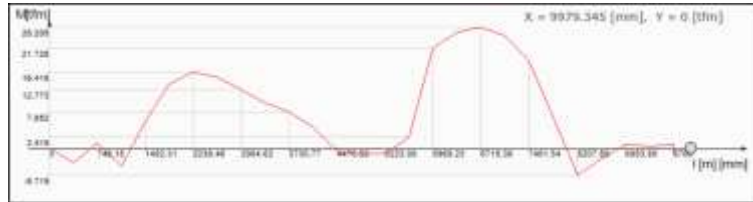
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



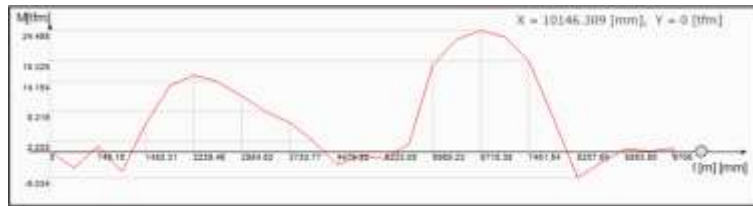
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



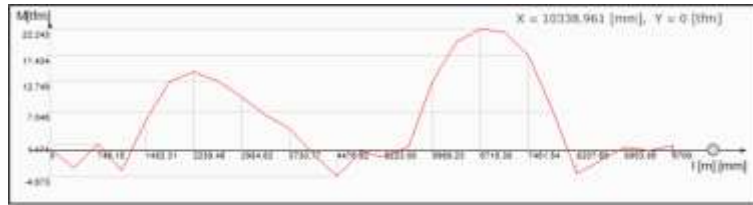
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



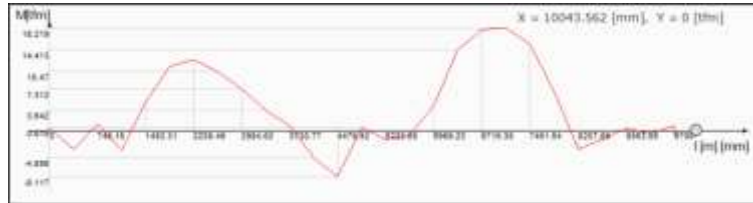
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

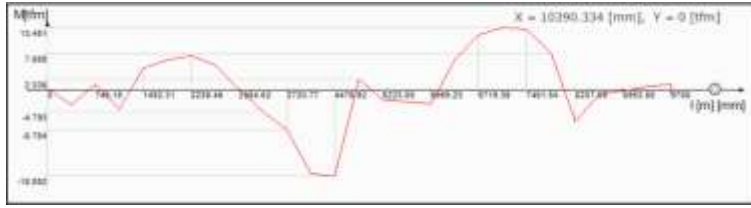


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.11. 6 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



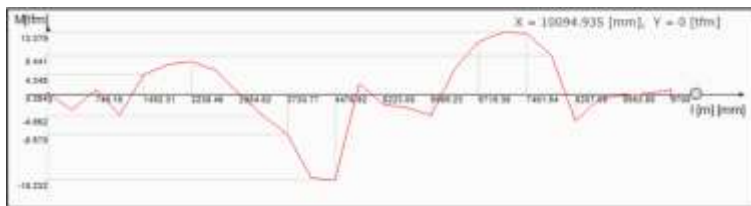
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



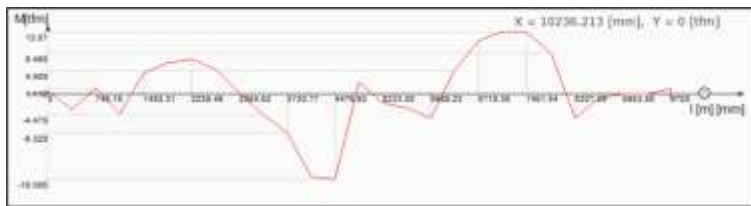
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



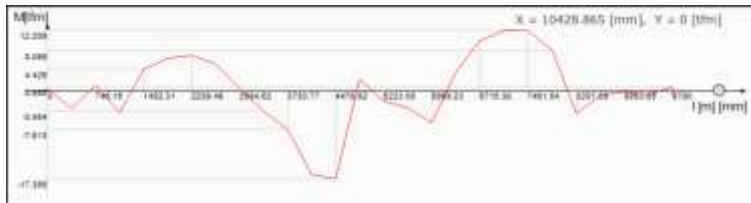
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



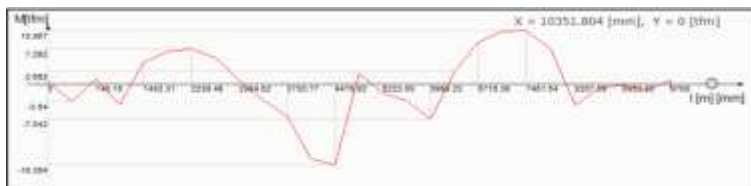
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

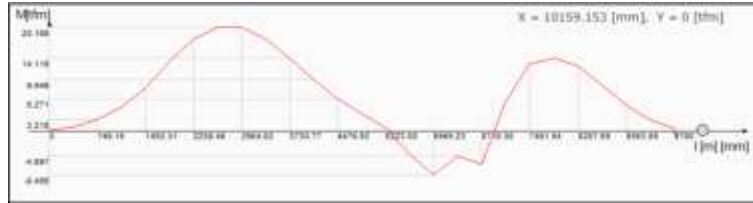


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

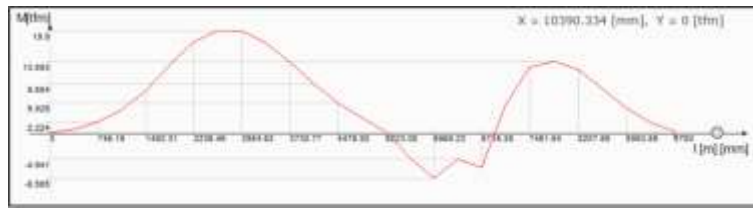
Şekil 7.12. 6 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



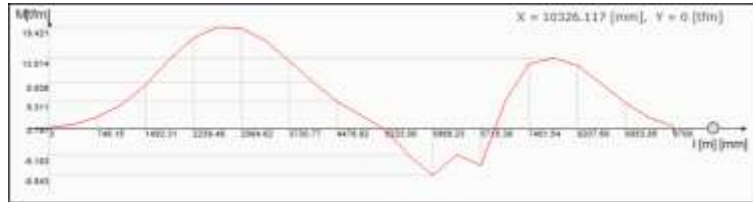
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



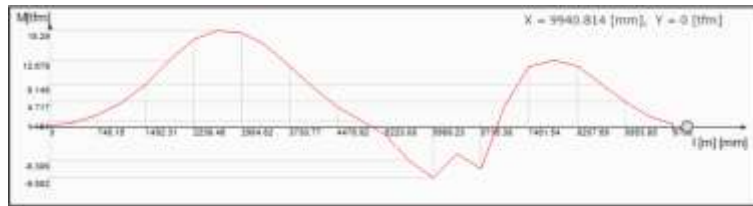
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



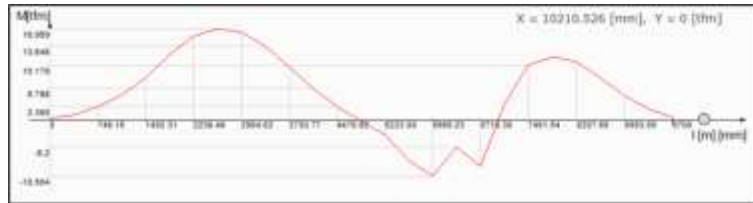
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



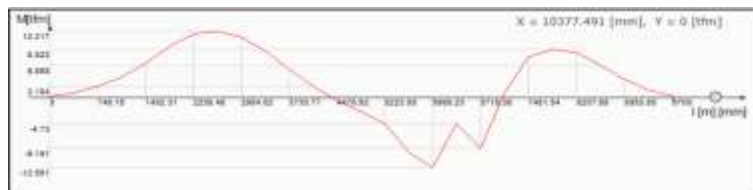
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

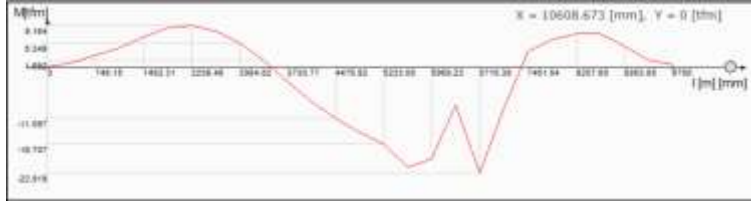


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.13. 7 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



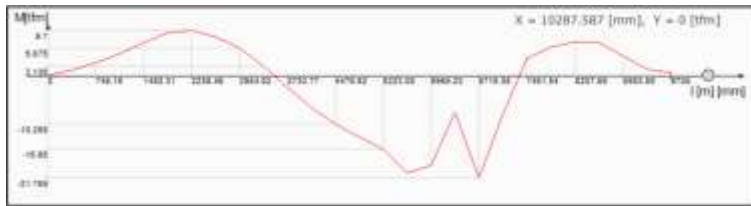
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



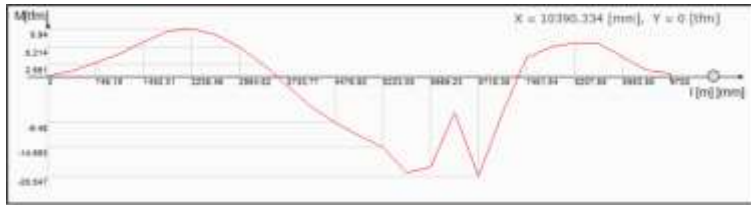
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

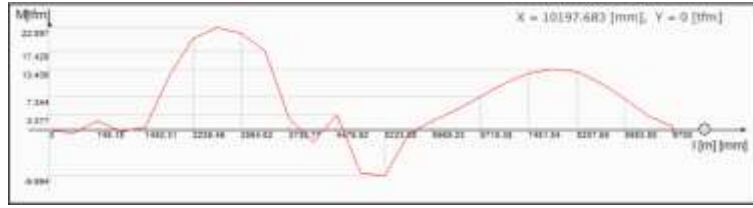


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

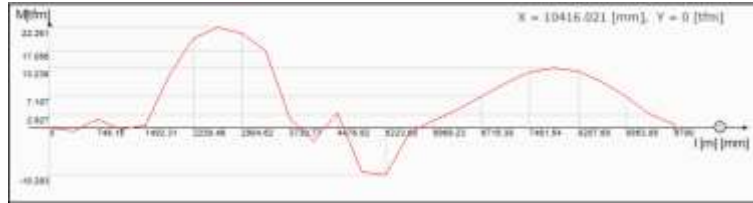


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.14. 7 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



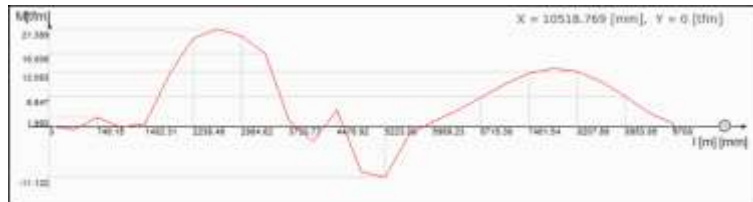
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



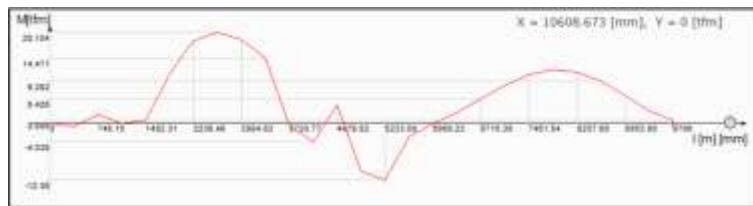
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



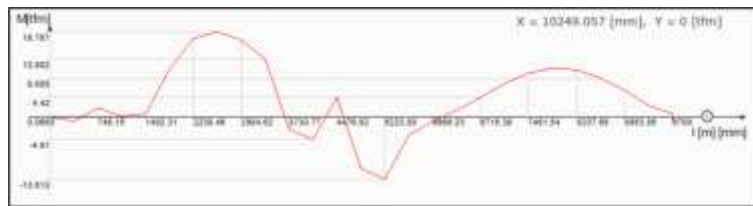
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



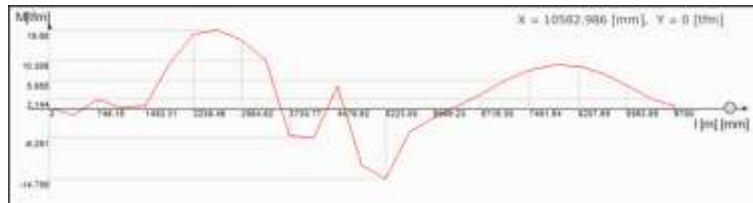
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

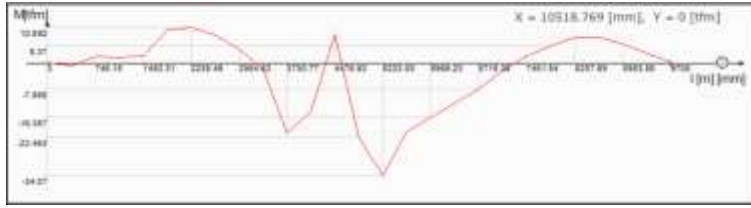


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

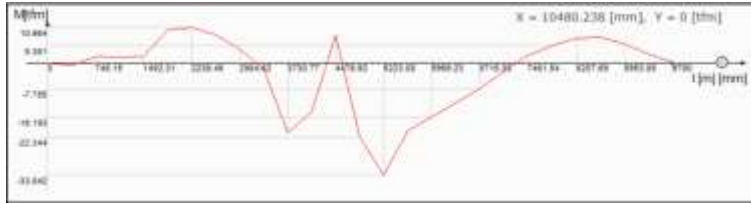


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

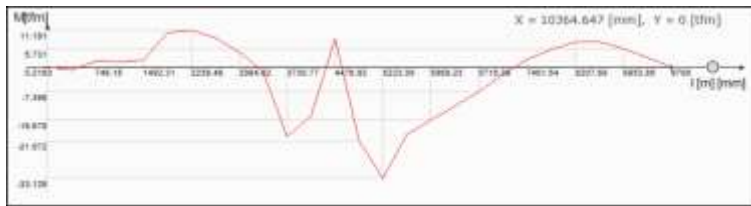
Şekil 7.15. 8 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



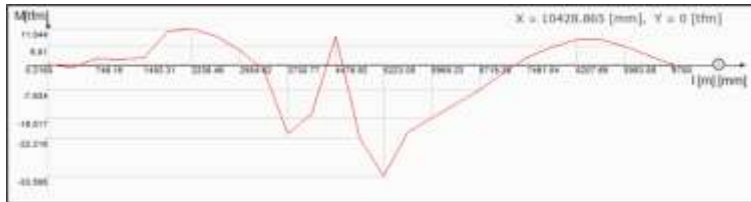
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



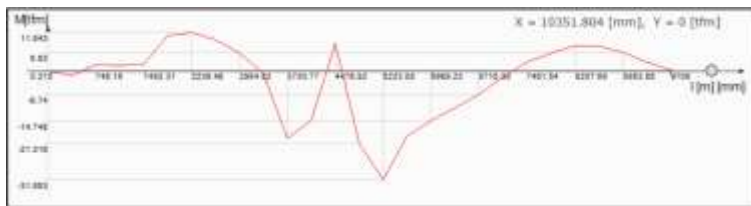
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



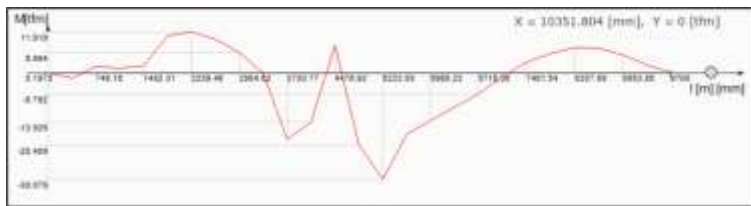
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



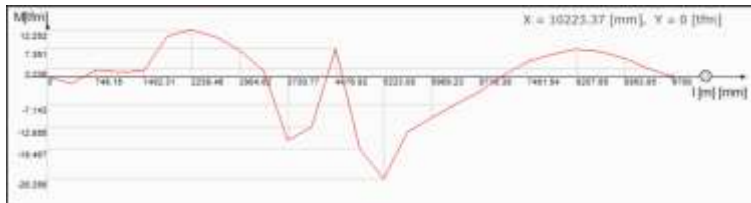
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

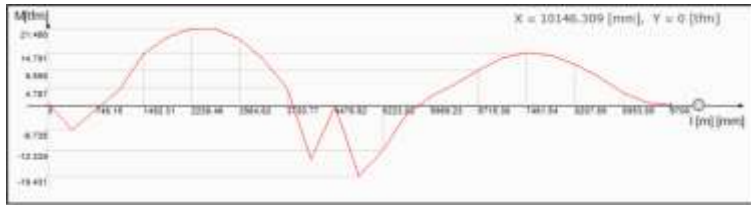
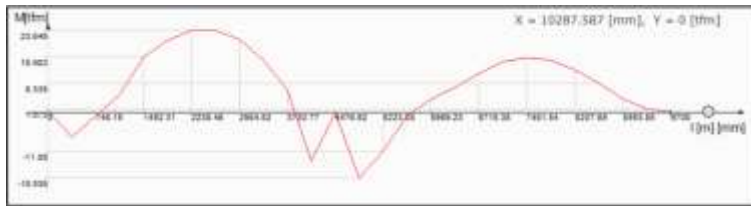
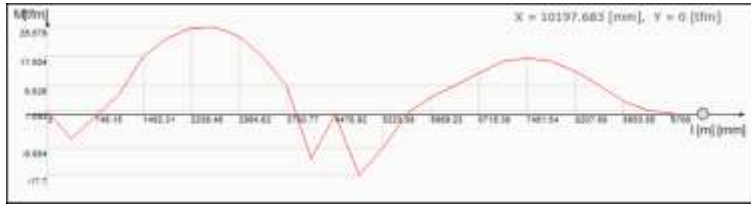
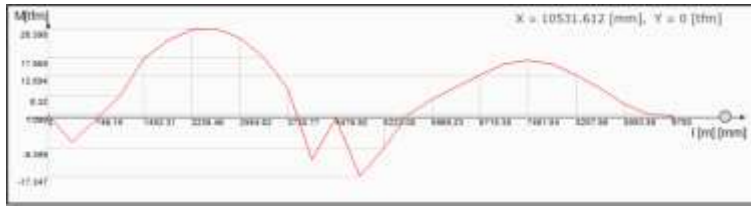
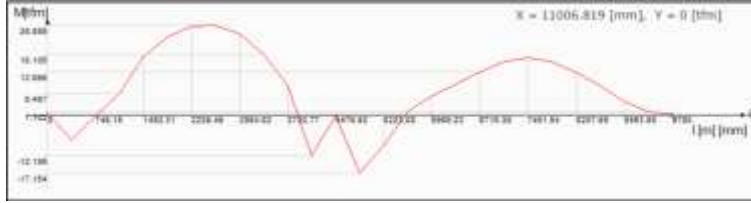
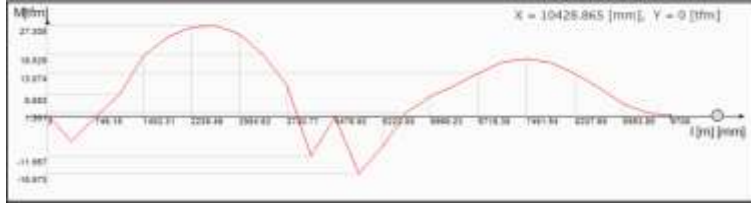


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

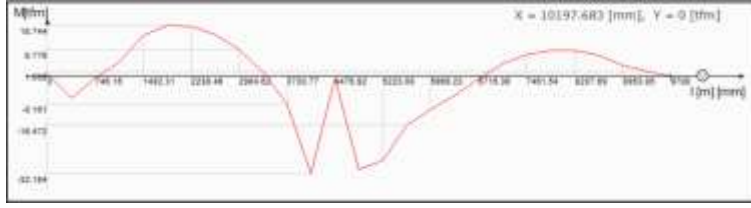


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

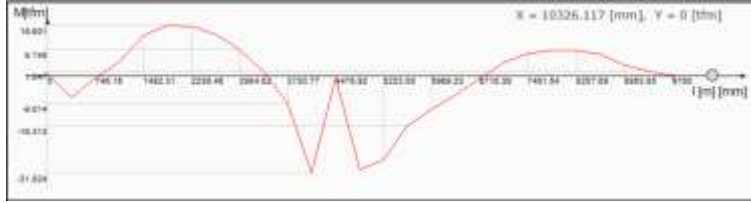
Şekil 7.16. 8 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



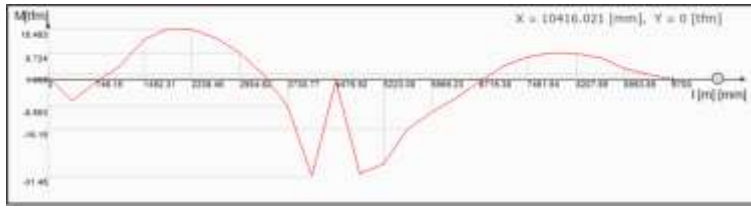
Şekil 7.17. 9 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



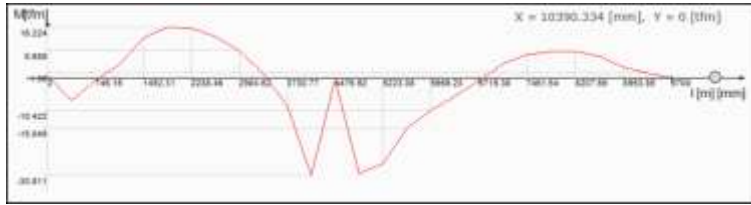
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



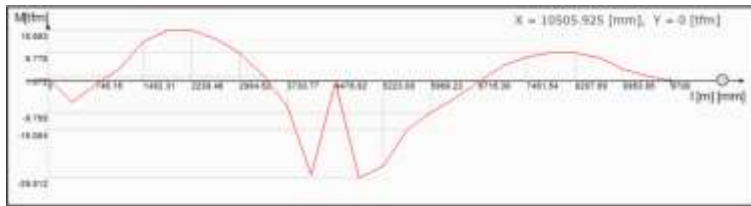
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



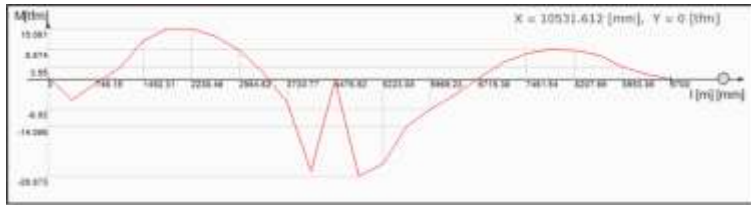
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



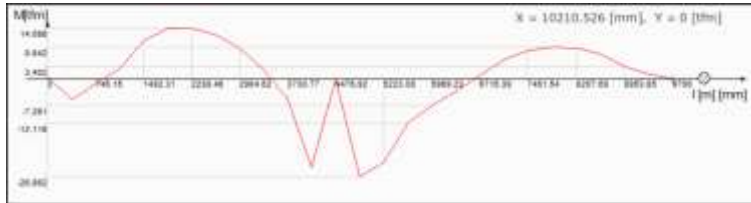
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

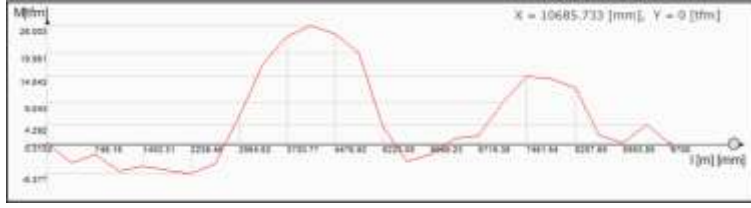


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

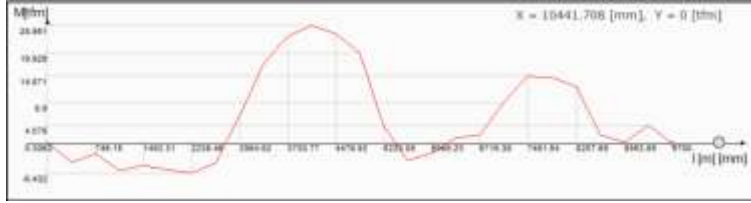


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

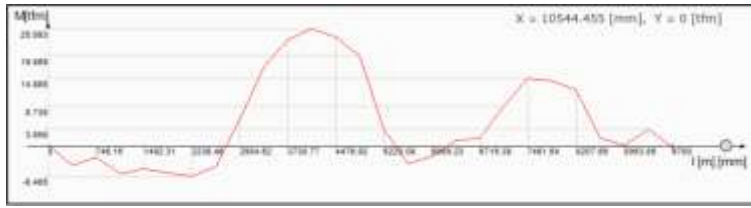
Şekil 7.18. 9 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



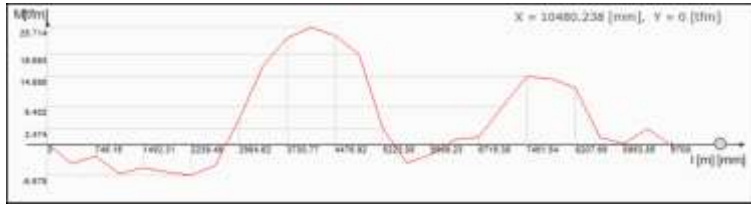
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



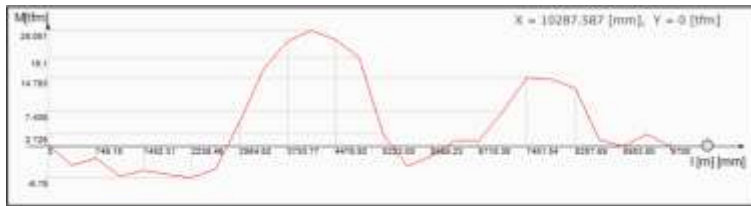
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



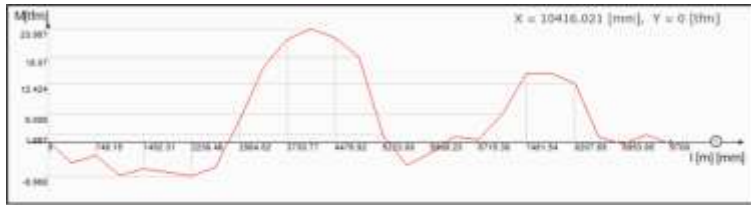
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



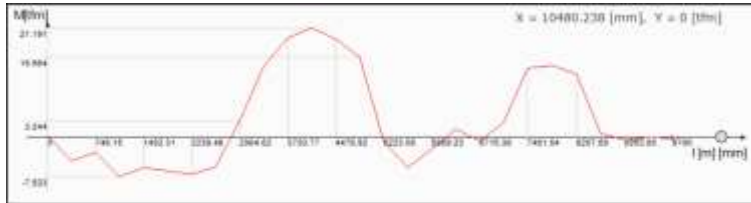
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



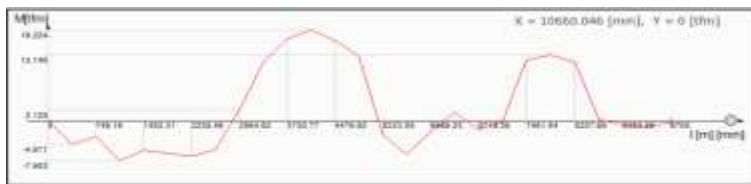
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$

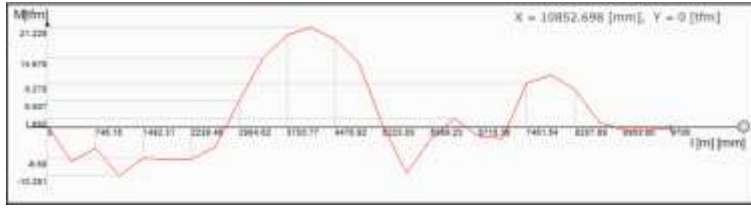


$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$

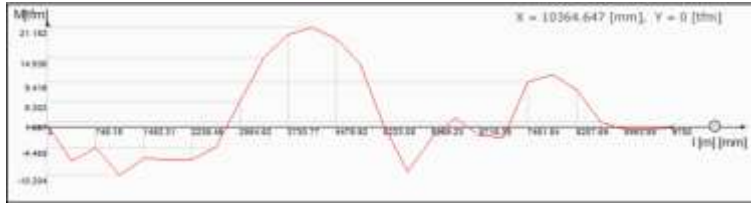


$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

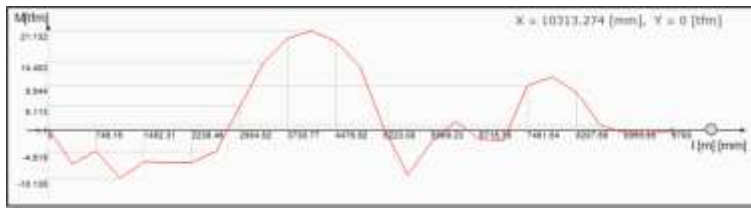
Şekil 7.19. 10 numaralı hesap aksı üzerinde üniform Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları



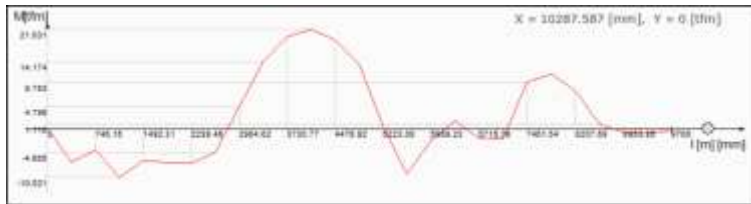
$$k_s = 50 \text{ tf/m}^3$$



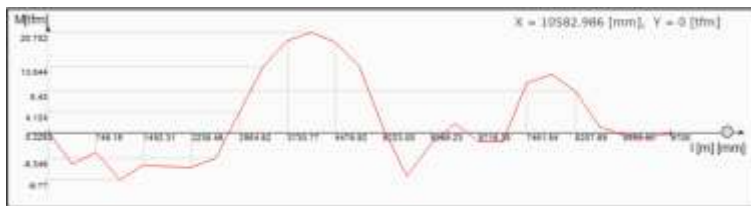
$$k_s = 500 \text{ tf/m}^3$$



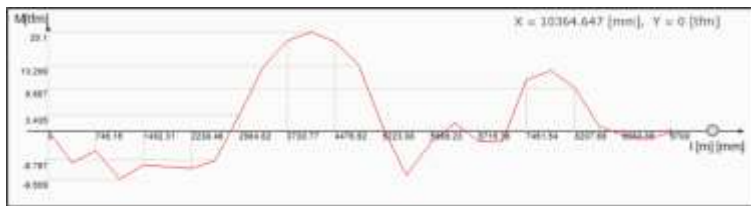
$$k_s = 1000 \text{ tf/m}^3$$



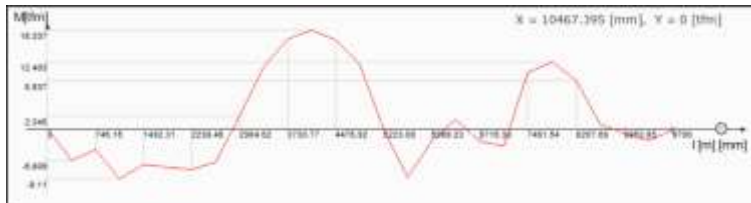
$$k_s = 2000 \text{ tf/m}^3$$



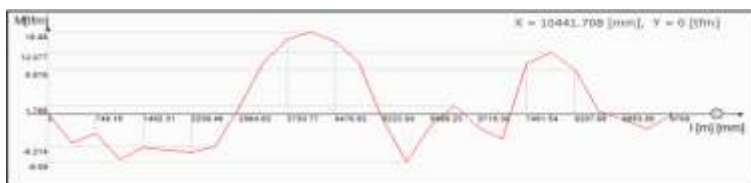
$$k_s = 5000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 10000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 25000 \text{ tf/m}^3$$



$$k_s = 50000 \text{ tf/m}^3$$

Şekil 7.20. 10 numaralı hesap aksı üzerinde çoklu eşlenik Winkler yay yöntemiyle elde edilen moment diyagramları

7.2. Donatı Alanı Hesabı

Bazı yatak katsayısı değerleri için ideCAD ile hesaplanan donatı alanları minimum donatı alanının altında kaldığından ideCAD programı otomatik olarak temele minimum donatı yerleştirmektedir. Bu durumda farklı yatak katsayıları için eşit donatı alanları elde edilmektedir. Böyle olunca yatak katsayısındaki değişimlerin donatı alanı üzerindeki etkisi görülememektedir. Bu nedenle donatı alanlarının elle hesaplanmasına karar verilmiştir. El hesaplamaları TS 500’de verilen kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir hesap aksı için elde edilen moment değerleri kullanılarak aşağıda verilen bağıntılarla donatı alanları (A_s) hesaplanmıştır. Aşağıda örnek olarak 7 numaralı hesap aksı için yapılan hesaplar gösterilmiştir.

$$A_s = \frac{M_d}{F_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)} \quad (7.1)$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 M_d}{0,85 f_{cd} B}} \quad (7.2)$$

Bu eşitlikler kullanılarak 7 numaralı hesap aksı için donatı alanı (A_s) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

7 numaralı hesap aksı için üst minimum donatı alanı için;

$$a = 0,75 - \sqrt{0,75^2 - \frac{2 \times 20,17 \times 9,81}{0,85 \times 16667 \times 9,7}} = 0,0019223 \text{ (m)}$$

$$A_s = \frac{20,17 \times 9,81 \times 1000}{365,217 \times \left(0,75 - \frac{0,0019223}{2} \right)} = 723,30 \text{ mm}^2$$

7 numaralı hesap aksı için alt minimum donatı alanı için;

$$a = 0,75 - \sqrt{0,75^2 - \frac{2 \times 8,46 \times 9,81}{0,85 \times 16667 \times 9,7}} = 0,00081 \text{ (m)}$$

$$A_s = \frac{8,46 \times 9,81 \times 1000}{365,217 \times \left(0,75 - \frac{0,00054}{2}\right)} = 303,15 \text{ mm}^2$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 7.1. Üniform Winkler Yay Yöntemi ile hesaplanmış temelde oluşan momentler ve minimum donatı alanları

$K_s \text{ (tf/m}^3\text{)}$	1				2			
	+		-		+		-	
	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$
50	42,32	1519,75	16,40	587,97	38,72	1390,15	5,15	184,50
500	41,72	1498,15	16,72	599,45	38,14	1369,28	5,18	185,58
1000	41,10	1475,83	17,02	610,22	37,59	1349,49	5,21	186,65
2000	39,98	1435,51	17,47	626,37	36,69	1317,10	5,25	188,09
5000	37,19	1335,09	18,12	649,70	34,36	1233,27	5,35	191,67
10000	34,02	1221,04	18,24	654,01	31,27	1122,14	5,43	194,54
25000	28,29	1015,01	18,07	647,91	25,16	902,53	5,50	197,05
50000	22,90	821,34	22,58	809,85	19,50	699,24	5,51	197,41

$K_s \text{ (tf/m}^3\text{)}$	3				4			
	+		-		+		-	
	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$
50	37,31	1339,41	16,66	597,30	28,05	1006,39	36,00	1292,27
500	36,85	1322,86	17,17	615,60	27,50	986,62	35,77	1284,00
1000	36,36	1305,23	17,68	633,91	26,94	966,49	35,53	1275,36
2000	35,44	1272,13	18,54	664,78	25,97	931,63	35,11	1260,25
5000	33,04	1185,80	20,29	727,61	23,90	857,26	34,08	1223,20
10000	29,90	1072,89	21,79	781,48	22,86	819,91	32,86	1179,32
25000	24,26	870,20	22,83	818,83	21,59	774,29	30,53	1095,54
50000	18,85	675,91	22,05	790,81	20,14	722,22	28,03	1005,67

$K_s \text{ (tf/m}^3\text{)}$	5				6			
	+		-		+		-	
	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	$M_d \text{ (tfm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$
50	33,59	1205,58	8,63	309,25	27,55	988,41	6,34	227,15
500	33,49	1201,98	8,69	311,40	27,21	976,20	6,18	221,42
1000	33,35	1196,94	8,75	313,55	26,86	963,62	6,02	215,68
2000	33,02	1185,08	8,81	315,70	26,20	939,90	5,72	204,93
5000	31,84	1142,64	8,80	315,34	24,49	878,46	5,03	180,20
10000	29,95	1074,68	8,54	306,02	22,24	797,64	4,67	167,30
25000	25,31	907,92	7,65	274,11	18,22	653,29	8,12	290,96
50000	20,54	736,59	6,71	240,42	15,04	539,16	10,06	360,52

Çizelge 7.1. (devam) Üniform Winkler Yay Yöntemi ile hesaplanmış temelde oluşan momentler ve minimum donatı alanları

K_s (tf/m ³)	7				8			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50	20,48	734,43	8,35	299,21	22,60	810,57	10,00	358,37
500	20,17	723,30	8,46	303,15	22,26	798,36	10,28	368,41
1000	19,90	713,61	8,58	307,45	21,93	786,50	10,58	379,17
2000	19,42	696,37	8,84	316,78	21,36	766,03	11,12	398,54
5000	18,29	655,81	9,56	342,59	20,10	720,79	12,36	443,01
10000	16,96	608,07	10,50	376,30	18,79	673,75	13,61	487,85
25000	14,53	520,86	11,96	428,66	16,68	598,02	14,80	530,55
50000	12,22	437,99	12,56	450,19	14,75	528,76	14,43	517,27

K_s (tf/m ³)	9				10			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50	27,30	979,43	16,97	608,42	26,00	932,71	6,38	228,59
500	26,85	963,26	17,15	614,88	25,95	930,92	6,43	230,38
1000	26,40	947,09	17,35	622,06	25,88	928,40	6,48	232,17
2000	25,58	917,62	17,70	634,63	25,71	922,29	6,58	235,76
5000	23,65	848,28	18,54	664,78	25,08	899,66	6,78	242,93
10000	21,49	770,70	19,43	696,73	23,96	859,42	6,97	249,74
25000	18,07	647,91	20,41	731,92	21,19	759,93	7,52	269,45
50000	15,22	545,62	20,30	727,97	18,22	653,29	7,90	283,07

Çizelge 7.2. Çoklu Eşlenik Winkler Yöntemi ile hesaplanmış temelde oluşan momentler ve minimum donatı alanları

K_s (tf/m ³)	1				2			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50 (W)	40,23	1444,51	23,73	851,16	31,83	1142,28	9,30	333,27
500 (W)	39,54	1419,67	23,42	840,02	31,40	1126,82	9,15	327,89
1000 (W)	38,85	1394,83	23,10	828,53	30,95	1110,64	8,99	322,15
2000 (W)	37,67	1352,36	22,54	808,41	30,14	1081,51	8,69	311,40
5000 (W)	34,94	1254,14	21,19	759,93	28,13	1009,26	7,89	282,72
10000 (W)	31,67	1136,53	19,63	703,91	25,59	917,98	6,85	245,43
25000 (W)	25,74	923,37	17,74	636,06	20,73	743,41	5,30	189,88
50000 (W)	20,44	733,00	20,10	720,79	16,40	587,97	5,39	193,11

Çizelge 7.2. (devam) Çoklu Eşlenik Winkler Yöntemi ile hesaplanmış temelde oluşan momentler ve minimum donatı alanları

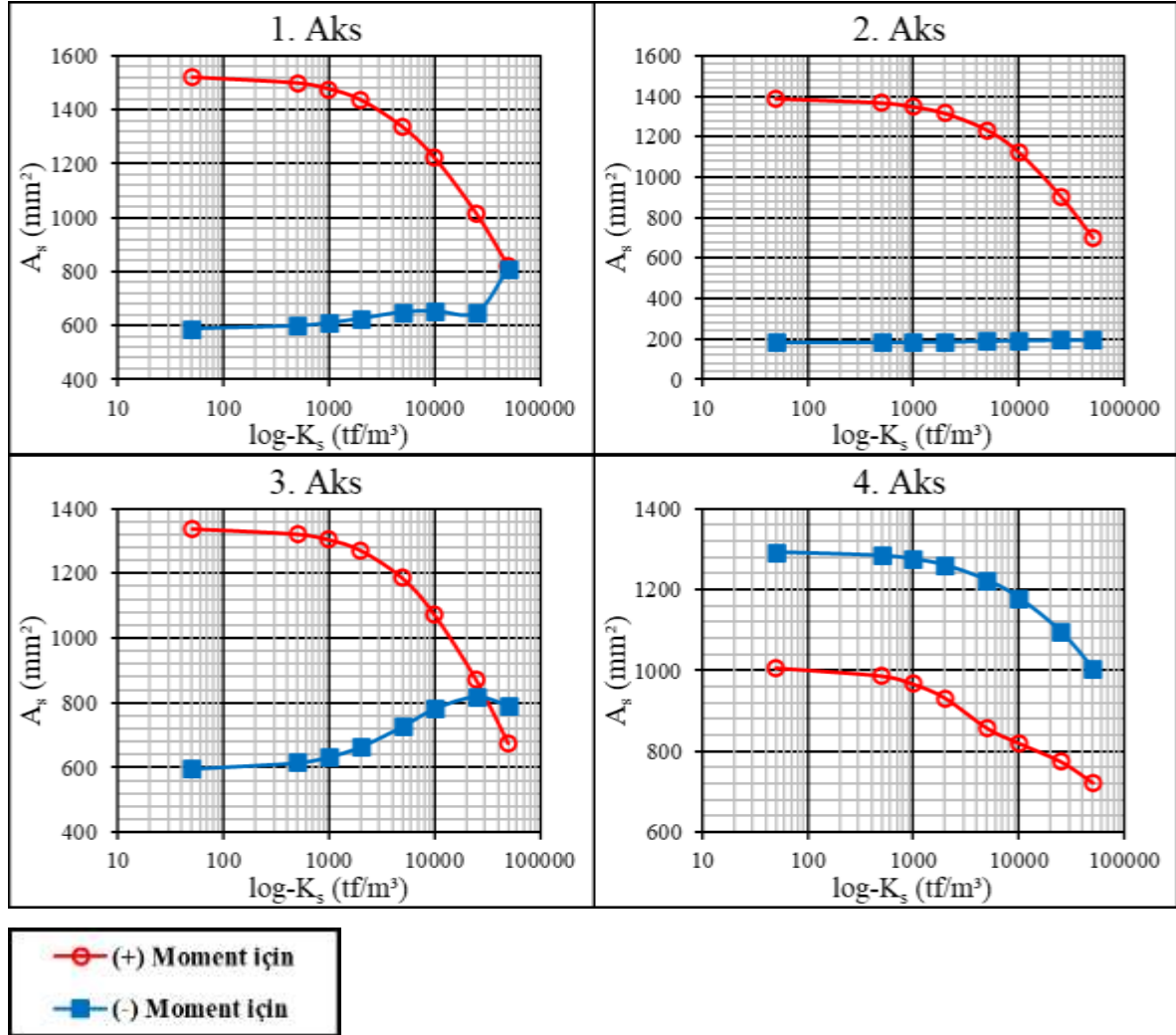
K_s (tf/m ³)	3				4			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50 (W)	26,42	947,81	26,14	937,74	25,64	919,78	34,67	1244,43
500 (W)	26,21	940,26	26,20	939,90	25,36	909,72	34,69	1245,14
1000 (W)	25,97	931,63	26,25	941,70	25,06	898,94	34,65	1243,71
2000 (W)	25,53	915,82	26,34	944,93	24,51	879,18	34,50	1238,31
5000 (W)	24,32	872,35	26,50	950,68	23,16	830,68	33,79	1212,77
10000 (W)	22,66	812,72	26,49	950,32	22,13	793,69	32,52	1167,09
25000 (W)	19,13	685,96	25,71	922,29	20,24	725,81	29,66	1064,26
50000 (W)	15,56	557,82	24,08	863,73	18,74	671,96	27,46	985,18

K_s (tf/m ³)	5				6			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50 (W)	32,84	1178,60	17,74	636,06	13,45	482,11	18,55	665,14
500 (W)	32,60	1169,97	10,68	382,76	13,47	482,83	18,51	663,70
1000 (W)	32,33	1160,26	10,61	380,25	13,48	483,19	18,47	662,27
2000 (W)	31,79	1140,84	10,47	375,23	13,48	483,19	18,40	659,75
5000 (W)	30,21	1084,03	10,01	358,73	13,38	479,60	18,23	653,65
10000 (W)	27,91	1001,35	9,33	334,35	13,07	468,48	18,01	645,75
25000 (W)	23,07	827,45	7,95	284,87	12,21	437,63	17,35	622,06
50000 (W)	18,42	660,47	6,76	242,21	10,96	392,80	16,35	586,17

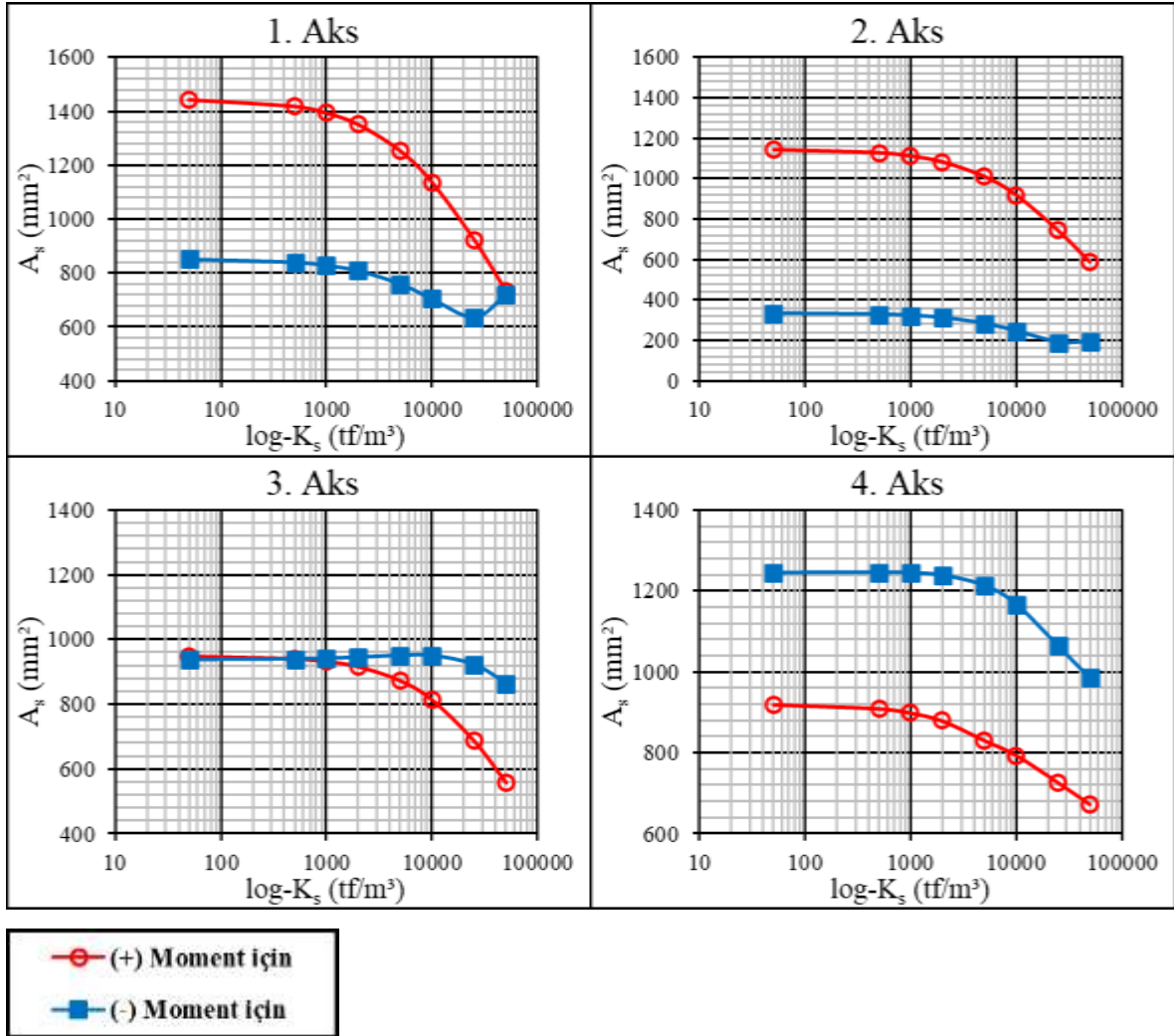
K_s (tf/m ³)	7				8			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50 (W)	9,08	325,38	23,01	825,29	10,89	390,29	34,07	1222,84
500 (W)	9,16	328,25	22,92	822,06	10,96	392,80	33,84	1214,57
1000 (W)	9,25	331,48	22,80	817,75	11,04	395,67	33,60	1205,94
2000 (W)	9,40	336,86	22,56	809,13	11,19	401,05	33,12	1188,67
5000 (W)	9,70	347,61	21,77	780,76	11,54	413,60	31,85	1143,00
10000 (W)	9,94	356,22	20,55	736,95	11,92	427,23	30,08	1079,36
25000 (W)	9,93	355,86	18,16	651,14	12,25	439,07	26,26	942,06
50000 (W)	9,30	333,27	16,66	597,30	11,90	426,51	22,30	799,79

K_s (tf/m ³)	9				10			
	+		-		+		-	
	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)	M_d (tfm)	A_s (mm ²)
50 (W)	16,74	600,17	32,18	1154,87	21,23	761,36	10,28	368,41
500 (W)	16,60	595,14	31,82	1141,92	21,18	759,57	10,20	365,54
1000 (W)	16,46	590,12	31,45	1128,62	21,13	757,77	10,14	363,39
2000 (W)	16,22	581,51	30,81	1105,60	21,03	754,18	10,02	359,09
5000 (W)	15,68	562,13	29,81	1069,65	20,70	742,33	9,77	350,12
10000 (W)	15,08	540,60	28,87	1035,86	20,10	720,79	9,51	340,80
25000 (W)	14,09	505,08	26,86	963,62	18,34	657,60	9,11	326,46
50000 (W)	12,93	463,46	24,72	886,72	16,06	575,76	9,09	325,74

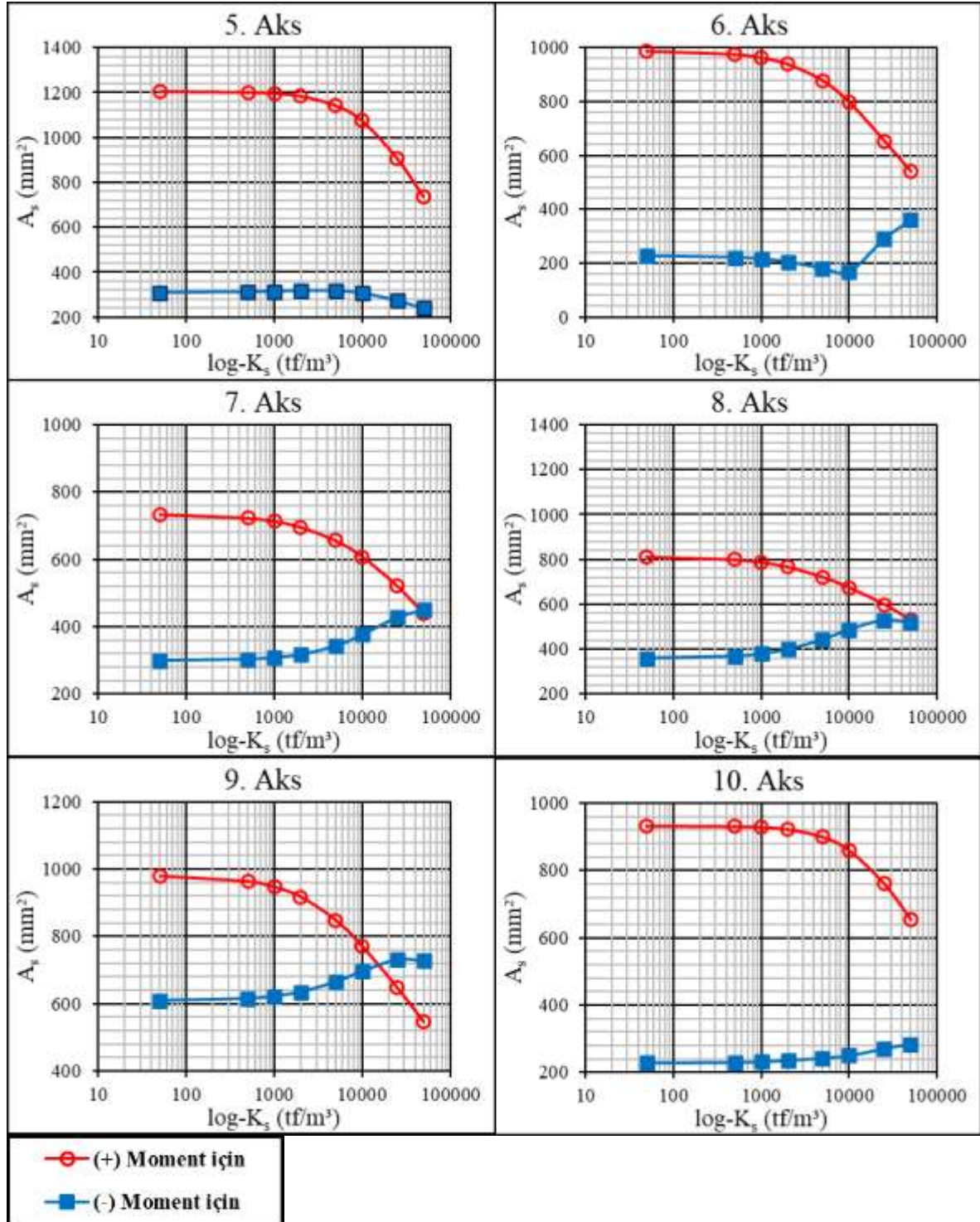
Bu değerler kullanılarak çizilen yatak katsayısı – minimum donatı alanı grafikleri aşağıda verilmiştir. Bu grafikler çizilirken zemin yatak katsayısı verileri çok geniş bir aralıktadır değiştiği için grafiklerin yatay eksenleri logaritmik olarak çizilmiştir.



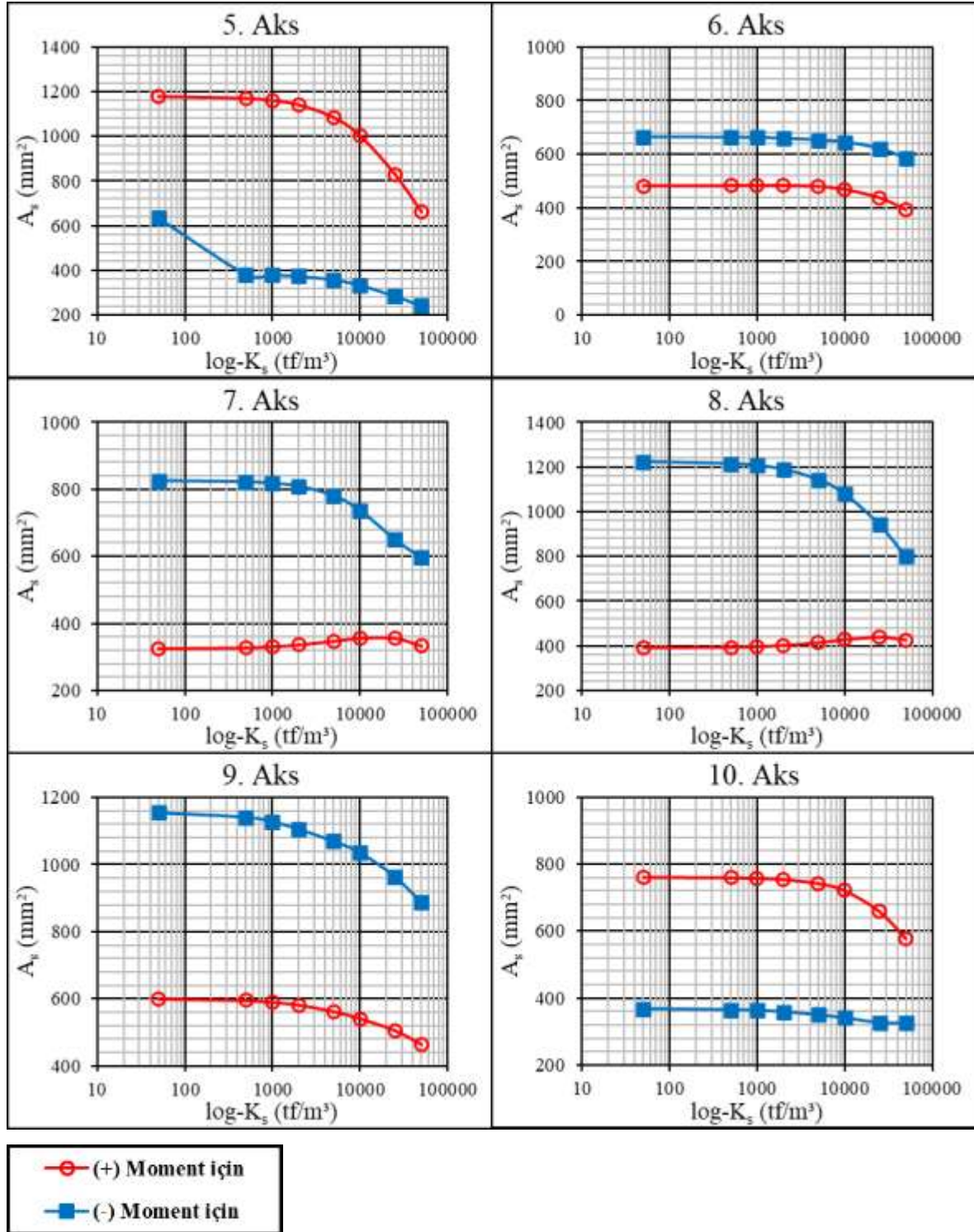
şekil 7.21. Üniform Winkler yöntemi ile hesaplanmış X eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri



Şekil 7.22. Çoklu Eşlenik Winkler Yay yöntemi ile hesaplanmış X eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri



Şekil 7.23. Üniform Winkler yöntemi ile hesaplanmış Y eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri



Şekil 7.24. Çoklu Eşlenik Winkler Yay yöntemi ile hesaplanmış X eksenindeki hesap akslar için çizilen $A_s - k_s$ grafikleri

Yukarıda gösterilen hesaplamalar yapıldıktan sonra temelin toplam demir donatı metrajının bulunması için temel donatılandırılması yapıldı. Bu hesap yapılırken 9,70 x 17,0 m olan temelin X ve Y yönlerinde ilgili yöndeki minimum donatı oranı en yüksek olan hesap aksı kullanıldı. İlgili yöndeki hesap aksı seçildikten sonra iki yönde kullanılması gereken alt ve

üst donatı çapı ile aralığı hesaplandı. Hesaplanan donatı çapı ve aralığı kullanılarak X yönü için 17 metre, ilave bindirme boyu ve donatının gönyelendirme uzunlukları da hesaba katılarak X yönündeki toplam donatı ağırlığı hesaplandı. Y yönü içinse 9,7 metre için aynı işlem bindirme boyu olmadan aynı şekilde tekrarlandı. Yapılan hesaplar ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelge ve şekillerde gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Analizler doğrultusunda hesaplanan demir donatı metrajı

Ks (tf/m ³)	X Yönü Üst Donatı					X Yönü Alt Donatı				
	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)
50	φ 14	11	1553,37	1519,75	2143,86	φ 12	9	1369,73	1292,27	1922,23
500	φ 16	15	1541,47	1498,15	2062,08	φ 14	13	1338,08	1284,00	1817,73
1000	φ 18	20	1526,81	1475,83	1968,13	φ 16	18	1318,07	1275,36	1723,63
2000	φ 14	12	1436,76	1435,51	1967,21	φ 16	19	1259,28	1260,25	1634,57
5000	φ 16	17	1383,78	1335,09	1823,17	φ 16	19	1259,28	1223,20	1634,57
10000	φ 16	19	1259,28	1221,04	1634,57	φ 14	15	1180,19	1179,32	1578,57
25000	φ 16	24	1038,82	1015,01	1300,57	φ 14	16	1116,05	1095,54	1481,42
50000	φ 14	23	823,23	821,34	1037,87	φ 10	8	1060,29	1005,67	1501,02
Ks (tf/m ³)	Y Yönü Üst Donatı					Y Yönü Alt Donatı				
	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)
50	φ 12	10	1244,07	1205,58	1685,51	φ 12	22	627,18	608,42	771,52
500	φ 14	14	1253,50	1201,98	1641,62	φ 12	22	627,18	614,88	771,52
1000	φ 14	14	1253,50	1196,94	1641,62	φ 12	22	627,18	622,06	771,52
2000	φ 16	20	1206,37	1185,08	1506,36	φ 10	14	639,54	634,63	838,48
5000	φ 16	21	1158,50	1142,64	1435,46	φ 14	30	667,06	664,78	773,24
10000	φ 16	23	1075,24	1074,68	1312,16	φ 10	12	733,04	696,73	977,08
25000	φ 10	9	951,20	907,92	1300,49	φ 12	18	741,42	731,92	940,78
50000	φ 10	11	792,54	736,59	1065,28	φ 14	26	746,01	727,97	890,14
Ks (tf/m ³)	Toplam (kg)									
50	6523,12									
500	6292,95									
1000	6104,90									
2000	5946,61									
5000	5666,44									
10000	5502,38									
25000	5023,26									
50000	4494,31									

Çizelge 7.4. Analizler doğrultusunda hesaplanan demir donatı metrajı, (W) ile işaretli olan yatak katsayıları hesabında çoklu eşlenik Winkler yay yöntemi kullanılmıştır.

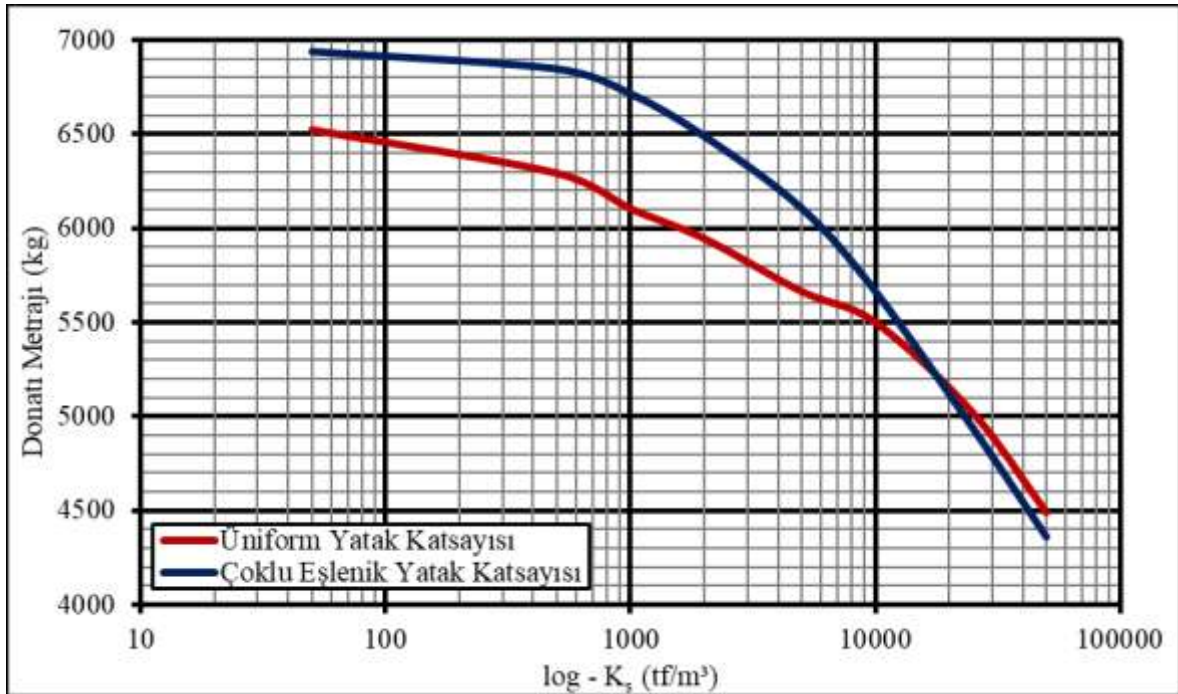
Ks (tf/m ³)	X Yönü Üst Donatı					X Yönü Alt Donatı				
	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)
50 (W)	φ 16	16	1457,70	1444,51	1935,16	φ 16	19	1259,28	1244,43	1634,57
500 (W)	φ 14	12	1436,76	1419,67	1967,21	φ 14	14	1253,50	1245,14	1689,61
1000 (W)	φ 18	22	1411,15	1394,83	1792,82	φ 12	10	1244,07	1243,71	1731,78
2000 (W)	φ 16	17	1383,78	1352,36	1823,17	φ 20	33	1266,16	1238,31	1491,53
5000 (W)	φ 14	13	1338,08	1254,14	1817,73	φ 20	34	1238,16	1212,77	1449,11
10000 (W)	φ 12	11	1141,25	1136,53	1575,95	φ 20	36	1186,82	1167,09	1371,33
25000 (W)	φ 10	9	951,20	923,37	1335,61	φ 16	23	1075,24	1064,26	1355,76
50000 (W)	φ 10	12	733,04	733,00	1004,77	φ 14	18	1009,15	985,18	1319,48

Çizelge 7.4. (devam) Analizler doğrultusunda hesaplanan demir donatı metrajı, (W) ile işaretli olan yatak katsayıları hesabında çoklu eşlenik Winkler yay yöntemi kullanılmıştır.

Ks (tf/m ³)	Y Yönü Üst Donatı					Y Yönü Alt Donatı				
	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)	Çapı (mm)	Aralığı (cm)	Alanı (mm ²)	Gerekli Alan (mm ²)	Ağırlık (kg)
50 (W)	φ 12	10	1244,07	1178,60	1685,51	φ 12	10	1244,07	1222,84	1685,51
500 (W)	φ 16	20	1206,37	1169,97	1506,36	φ 12	10	1244,07	1214,57	1685,51
1000 (W)	φ 16	20	1206,37	1160,26	1506,36	φ 12	10	1244,07	1205,94	1685,51
2000 (W)	φ 14	15	1180,19	1140,84	1533,07	φ 12	10	1244,07	1188,67	1685,51
5000 (W)	φ 12	11	1141,25	1084,03	1533,18	φ 16	21	1158,50	1143,00	1435,46
10000 (W)	φ 14	18	1009,15	1001,35	1279,80	φ 14	16	1116,05	1079,36	1438,09
25000 (W)	φ 16	32	829,38	827,45	948,04	φ 12	13	983,08	963,62	1298,82
50000 (W)	φ 8	8	678,58	660,47	936,09	φ 14	21	886,98	886,72	1098,88

Ks (tf/m ³)	Toplam (kg)
50 (W)	6940,75
500 (W)	6848,69
1000 (W)	6716,47
2000 (W)	6533,29
5000 (W)	6235,48
10000 (W)	5665,17
25000 (W)	4938,23
50000 (W)	4359,23

Bu durumda oluşacak olan zemin yatak katsayısı – demir donatı metrajı Şekil 7.23'teki gibidir.



Şekil 7.25. Donatı metrajı – zemin yatak katsayısı grafiği

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada zemin yatak katsayısının radye temel tasarımında donatı metrajına olan etkisi incelenmiştir. Çalışma boyunca daha önce imal edilmiş konut tipi bir yapı temeli ve Ankara, Yenimahalle, Söğütözü mevki üzerinde bulunan killi bir zemin örneği kullanılmıştır. Yapısal analizler ideCAD programı kullanılarak yapılmıştır.

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Zemin Laboratuvarında ve arazide yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlardan zemin parametreleri belirlenmiştir.

Zemin yatak katsayısı hesaplamak için kullanılan yöntemlerinin çoğunluğunda elastisite modülü ve Poisson oranına ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Elastisite modülünün tanımlamanın 3 farklı yolu mevcut olup çalışmada başlangıç elastisite modülü kullanılmıştır. Başlangıç elastisite modülünün hesabında üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen gerilme – birim deformasyon grafiği kullanılmış olup hücre basıncının artması ile hesaplanan değerin arttığı tespit edilmiştir.

Farklı bilim insanları tarafından önerilen yöntemler kullanılarak aynı zemin için yatak katsayısı değerleri hesaplanmış ve yatak katsayısı değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği gözlemlenmiştir. Bu aralığın yaklaşık 400 – 20000 kN/m³ arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Yatak katsayısının hesaplanmasında kullanılan ve görece farklı sonuçlar veren eşitliklerde elastisite modülü, E_s , kullanılmadığı gözlemlenmiştir.

ideCAD ile yapılan analizlerde konut tipi bir yapı kullanılmış olup yapı zemin kat artı 10 kat ile toplamda 11 kattan oluşmaktadır. Statik tasarımda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ve TS 500'e uyulmuştur. Analizlerde kullanılan yatak katsayısı değeri 500 ile 500000 kN/m³ arasında değiştirilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda temelde oluşan moment dağılımının (desenin) değişmediği ancak moment değerlerinin değiştiği görülmüştür.

Yapılan yapısal analizlerde temel altında hem üniform dağılan yatak katsayısı değeri hem de çoklu eşlenik Winkler yöntemiyle oluşturulan değişken yatak katsayısı kullanılmıştır. İki yöntemle de yapılan analizler sonucunda moment dağılımını değişmediği ancak moment

değerlerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

Yapısal analizler tamamlandıktan sonra görülmüştür ki zemin yatak katsayısı arttıkça temelde oluşan momentler azalmakta ve bununla beraber temelde gerekli olan minimum demir donatı metrajı da azalmaktadır.

Yatak katsayısı 7000 kN/m^3 seçildiğinde hesaplanan 6200 kg demir donatı ağırlığı, yatak katsayısı 10 kat arttırılarak 70000 kN/m^3 seçildiğinde %10,7 azalarak 5600 kg olarak hesaplanmıştır. Aynı değerler Winkler çoklu eşlenik yay yöntemi kullanılarak hesaplandığında 7000 kN/m^3 için 6800 kg olan demir donatı ağırlığı, yatak katsayısı 70000 kN/m^3 olacak şekilde değiştirildiğinde %15,3 azalarak 5900 kg olarak hesaplanmıştır.

Zemin yatak katsayısı seçiminde yapılan hatalar, yapısal performansı olumsuz etkileyebilir ve hatta yapısal güvenliği tehlikeye atabilir. Bu nedenle, mühendislerin bu değeri belirlerken sadece yaygın olarak kullanılan standart değerlere güvenmek yerine, projeye özgü zemin özelliklerini dikkate almaları önemlidir. Bu bağlamda, mühendislerin zemin yatak katsayısı seçimine yönelik bilinçli, analitik bir yaklaşım benimsemeleri, yapıların tasarımında ve inşasında daha güvenilir sonuçlar elde etmelerine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada yapılan analizler ve hesaplamalar Ankara ili Yenimahalle ilçesindeki bir konum seçilerek gerçekleştirilmiştir, diğer çalışmalarda deprem bölgeleri ve farklı temel boyutları için analizler ve hesaplamalar tekrarlanabilir ve çıkan sonuçlar karşılaştırılabilir. Aynı şekilde yapısal analizlerde kullanılan ideCAD programı yerine piyasada sıklıkla kullanılan diğer programlarla da yapısal analizler tekrarlanıp elde edilen sonuçlar bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir, akabinde ETABS gibi matris yapısal çözümlemeler yapabilen programlarla da analizler tekrar edilip sonuçlar karşılaştırılabilir.

Çalışma kapsamında analizlerde kullanılan yapı konut tipi bir yapı olduğu için Bina Kullanım Sınıfı (BKS) “3” seçilmiştir, diğer çalışmalarda bu değer “1” veya “2” seçilerek analizler tekrarlanıp sonuçlar karşılaştırılabilir.

Yapıda rijit bodrum bulunmamaktadır, aynı yapı projesi için rijit bodrum tanımlanarak yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Rijit bodrumun beraberinde yatay yaylar da hesaplara katılabilir.

Diğer çalışmalarda yatak katsayısının hesaplanmasında kullanılan basınç, q , ve deplasman, δ , değerleri ani oturma eşitlikleriyle hesaplanıp $k_s = q / \delta$ eşitliğinde yerine koyularak yatak katsayısı değeri hesaplanılabilir, aynı şekilde temel kenarında oluşacak olan oturmalar da hesaplanarak Çoklu Eşlenik Winkler yönteminde kullanılan değerler saptanabilir.

KAYNAKLAR

- Al Kaaby Al Zoabyi, H. (2022). *The Effect of the Variation of the Modulus of Subgrade Reaction on the Design of large Shallow Foundations*. Yüksek Lisans Tezi, Lebanese American University School of Engineering, 81.
- American Concrete Institute 336.2R-88. (2002). *Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footing and Mats (Reapproved 2002)*, 17.
- Aygın, E. (2019). *Determining the Subgrade Modulus According to Physical Properties and Shear Strength Parameters of Soil*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87.
- Biot, M.A. (1937). Bending of an Infinite Beam on an Elastic Foundation. *Journal of Applied Mechanics*, 1936-37(203), 6.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. (5. Baskı). Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc, 303-306, 501-506.
- Coduto, P. (2001). *Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar*. (Çev. Prof. Dr. M. Mollamahmutoğlu, Prof. Dr. K. Kayabalı). (2. Baskı). Ankara: Gazi Kitabevi, 134.
- Das, B. M. (2008). *Advanced Soil Mechanics*. (3. Baskı). New York: Taylor & Francis, 477-478.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering. SI*. (7. Baskı). Stamford: Cengage Learning, 310.
- Efendioğlu, K. (2008). *Radye Temellerin Tasarımında Kullanılan Hesap Yöntemlerinin Etkinliklerinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 24-25.
- Lambe, W. T. (1969). *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 151-153.
- Meyerhof, G. G., L. D. Baiki. (1963). Strength of Steel Culvert Sheets Bearing Against Compacted Sand Backfill. *Highway Research Board*, 30(1), 13.
- Mughieda, O. (2017). *Effect of Soil Subgrade Modulus on Raft Foundation Behavior*. International Conference on Advances in Sustainable Construction Materials & Civil Engineering Systems, MATEC Web of Conferences, 1-7.
- Orhan, M. (2019). *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı*. Ankara: Gazi Kitabevi, 247-250.
- Özer, M. (2011). *Bilgisayar Destekli Mimari Çizim Kurs*. BELTEK Kurs Notları (yayımlanmamış), Ankara, 73-82.
- Özer, M. (2012). Comparing Methods for Predicting Immediate Settlement of Shallow Foundations on Cohesive Soils Based on Hypothetical and Real Cases. *Environmental & Engineering Geoscience*, 18(4), 371-287.

- Scott, R. F. (1981). *Foundation Analysis*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 87.
- Selvadurai, A. P. S. (1979). *Elastic Analysis of Soil-Foundation Interaction 'Chapter 7'*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 217, 420-425.
- Smith, G. N., and Smith I. G. N. (1990). *Elements of Soil Mechanics*. (7. Baskı). Oxford: Blackwell Sciene Ltd, 317.
- Steinbrenner, W. (1934). Tafeln zur Setzungsberechnung. *Die Straße*, 1(1), 121–124.
- Terzaghi, K. (1955). Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction. *Geotechnique*, 5(4), 298.
- TS 500. (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, 49-51, 54, 59.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*, 8, 15-18, 35-38, 114, 121, 127, 343.
- Uzuner, B. A. (2016). *Temel Zemin Mekaniği*. (10. Baskı). Trabzon: Derya Kitabevi, 264.
- Vanicek, I. (2000). *Geomechanika 10: Mechanika Zemin*. (3. Baskı). Prague: Vydavatelství ČVUT, 229.
- Vesic, A. B. (1961). *Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis*. Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, 847.



Gazili olmak ayrıcalıktır