

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARD ÇEKME Lİ RADYE TEMELLER İLE BETONARME RADYE
TEMELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice KÖKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARD ÇEKME Lİ RADYE TEMELLER İLE BETONARME RADYE
TEMELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hatice KÖKAN
501151058**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501151058 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hatice KÖKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ARD ÇEKME Lİ RADYE TEMELLER İLE BETONARME RADYE TEMELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ali KOÇAK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2019**

Savunma Tarihi : **11 Haziran 2019**





Aileme ve sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında, ard çekmeli radye temeller ile betonarme radye temeller yapısal açıdan incelenmiştir.

Tez çalışma süresi boyunca, bana destek olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Turgut Öztürk'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu çalışmayı desteğini hiç esirgemeyen, güven ve sevgilerini hep hissettiğim aileme ithaf ediyorum.

Haziran 2019

Hatice Kökan
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
2. TEMEL TASARIMINDA ÖNEMLİ HUSUSLAR.....	3
2.1 Zemin Parametreleri.....	4
2.2 Yapı Parametreleri.....	7
3. KİRİŞSİZ RADYE TEMELLER.....	9
3.1 Çözüm Yöntemleri.....	10
3.1.1 Rijit Metot.....	10
3.1.2 Elastik yöntem.....	11
3.1.3 Kirişsiz Plak Moment Katsayıları Yöntemi.....	13
3.1.4 Sonlu elemanlar yöntemi.....	14
4. TİPİK BETONARME SİSTEM.....	15
4.1.1 Beton ve bileşenleri.....	15
4.1.2 Çelik.....	16
4.2 Kirişsiz Radye Temellerin Betonarme Çözümü.....	16
5. ARD ÇEKME YÖNTEMİ.....	19
5.1 Ard Çekmeli Sistemin Türleri.....	21
5.1.1 Aderanssız sistemler.....	21
5.1.2 Aderanslı sistem.....	22
5.1.3 Harici sistemler.....	23
5.2 Malzeme ve Ekipmanları.....	23
5.2.1 Beton ve bileşenleri.....	23
5.2.2 Çelik.....	23
5.2.3 Ankraj.....	25
5.2.4 Harç.....	26
5.3 Uygulama Aşamaları.....	27
5.3.1 Kablo teşkili ve yerleştirilmesi.....	27
5.3.2 Germe işlemi.....	29
5.3.3 Dolgu ve betonlama.....	30
5.4 Ard Çekmenin Temele Uygulanması.....	30
5.5 Ard Çekme Kayıpları.....	35
5.5.1 Kısa dönem kayıpları.....	35

5.5.1.1 Sürtünme kayıpları	35
5.5.1.2 Elastik kısalma	37
5.5.1.3 Ankraj oturması	39
5.5.2 Uzun dönem kayıpları	40
5.6 Kabloların Yerleşimi	41
5.7 Ankraj Bölgesi Tasarımı	46
5.8 AASHTO, TS, ACI Standartları ve Ard Çekme	47
6. SAYISAL ÇÖZÜMLER.....	51
6.1 Rijit Hesap Yöntemi.....	53
6.1.1 Betonarme radye temel çözümü	53
6.1.2 Ard çekmeli radye temel çözümü	56
6.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi	63
6.2.1 Betonarme radye temel çözümü	63
6.2.2 Ard çekmeli radye temel çözümü	67
7. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
PTI	: Post Tensioning Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
TS	: Türk Standartları
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği





SEMBOLLER

A_s	: Öngerme çeliğinin en kesit alanı
d	: Kalınlık
e	: Logaritma bazı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_{ci}	: Betonun aktarma yaşındaki elastisite modülü
E_d	: Temel zemininin rijitlik modülü
E_s	: Öngerilme çeliğinin elastisite modülü
E_t	: Yüzeysel temellerin elastisite modülü
f_{cir}	: Aktarma işleminden sonraki beton gerilmesi
f_{eds}	: Beton gerilmesi
f_{cjk}	: Betonun j-gün yaşta karakteristik basınç mukavemeti
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{pk}	: Öngerilme donatısının karakteristik kopma mukavemeti
f'_{ci}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f'_s	: Öngerilme çeliğinin nihai mukavemeti
k	: Sürtünme katsayısı
K_r	: Temellerin rölatif rijitliği
l	: Uzunluk
L'	: Etkili rijitlik yarıçapı
M_0	: Toplam statik moment
M_s	: Sapma momenti
P_0	: Aktif uçtaki öngerilme kuvveti
P_x	: l mesafesindeki kayıplardan sonraki öngerilme kuvveti
V_{pr}	: Zımbalama taşıma gücü
V_{pd}	: Tasarım zımbalama kuvveti
x	: Uzunluk
w	: Betonun birim hacim ağırlığı
μ	: Sürtünme katsayısı
μ_F	:Poisson oranı
μ_p	: Zımbalama çevresi uzunluğu

qu	: Zemin nihai taşıma gücü
qa	: Zemin emniyet gerilmesi
γ	: Eğilme güvenlik katsayısı
α	: Sürtünme katsayısı
$\sum\theta$: Açısal saplamaların toplamı
ΔI_c	: Kama oturması
ΔP	: Bir metre için öngerme kuvvet kaybı
$\Delta\sigma_p + s$: Rötme ve sünme sonucu oluşan kayıpların yüzde değeri
$\Delta\sigma_{p,c} + s$: Rötme ve sünme sonucu öngerme çeliğindeki gerilme kaybı
σ_{po}	: Öngerme çeliğindeki basınç gerilmesi
$\sigma_{c,po}$: Yalnız öngerme sonucu eleman yüksekliğindeki beton gerilmesi



ÇİZELGELİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Beton sınıfı ve dayanımı.....	15
Çizelge 4.2 : Donatı çeliği mekanik özellikleri ve dayanımı.	16
Çizelge 5.1 : Öngerme teli mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 5.2 : Öngerme toronu mekanik özellikleri.	25
Çizelge 5.3 : Öngerme çubuğu mekanik özellikleri.....	25
Çizelge 5.4 : Sürtünme ve Düzensizlik Katsayıları.	37
Çizelge 6.1 : Açıklık momenti değerleri ve donatı seçimi.....	55
Çizelge 6.2 : Mesnet momenti değerleri ve donatı seçimi.....	55
Çizelge 6.3 : Sabit ve hareketli yük değerleri.	63
Çizelge 7.1 : Zemin gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	77
Çizelge 7.2 : Moment değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Çizelge 7.3 : Kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	78



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yapı – zemin etkileşimi [2].	4
Şekil 2.2 : Taşıma gücü değerlendirmesinde oturma kriteri [4].	5
Şekil 2.3 : Yapı- zemin rölatif rijitliklere bağlı oturma şekilleri [5].	5
Şekil 2.4 : Nem nedeniyle şişme etkisi [6].	7
Şekil 2.5 : Büzülme etkisi [6].	7
Şekil 3.1 : Kirişsiz plak için plan ve kesit örneği.	10
Şekil 3.2 : Zemin gerilmelerinin dağılımı [9].	11
Şekil 3.3 : Temel rijitliğine bağlı zemin gerilmelerinin değişimi [10].	11
Şekil 3.4 : Elastik metot [9].	12
Şekil 3.5 : Kirişsiz plak yönteminde şeritlere ayırma işlemi.	13
Şekil 5.1 : Kesitte oluşan basınç ve çekme gerilmeleri.	19
Şekil 5.2 : 3 açıklıklı kirişe ait serbest cisim diyagramı [12].	20
Şekil 5.3 : Sapma kuvveti.	20
Şekil 5.4 : Standart ve kapsüllü tendon [6].	21
Şekil 5.5 : Aderanssız sistem [6].	22
Şekil 5.6 : Aderanslı sistem [6].	22
Şekil 5.7 : Harici sistem [6].	23
Şekil 5.8 : Gerilme – şekildeğiştirme eğrisi [14].	24
Şekil 5.9 : Aktif ankraj.	25
Şekil 5.10 : Kör ankraj.	26
Şekil 5.11 : Patlatma donatısı [6].	26
Şekil 5.12 : Itme metodunun şematik gösterimi [6].	28
Şekil 5.13 : Çekme metodunun şematik gösterimi [6].	28
Şekil 5.14 : Germe işleminin aşamaları.	29
Şekil 5.15 : Germe işlemi.	30
Şekil 5.16 : Ard çekmeli temelde kablo yerleşimi.	31
Şekil 5.17 : Ard çekme sistemi ve zemin gerilmesi [16].	32
Şekil 5.18 : Öngerilme miktarının zemin gerilmesine etkisi [17].	32
Şekil 5.19 : Gabriel Tower [17].	33
Şekil 5.20 : Temel planı [17].	33
Şekil 5.21 : Öngerilme kablolarının yerleşimi [17].	34
Şekil 5.22 : Zemin gerilmesi değişimi [17].	34
Şekil 5.23 : Sürtünmeden kaynaklı öngerme kuvvetinin değişimi [17].	35
Şekil 5.24 : İki uçtan gerilen kabloda sürtünmeden kaynaklı kuvvet değişimi [14].	36
Şekil 5.25 : Elastik kısalma etkisi [16].	38
Şekil 5.26 : Ankraj gömülmesi [14].	39
Şekil 5.27 : Ankraj gömülmesi sonucu oluşan kayıp.	40
Şekil 5.28 : Kablo profili.	42
Şekil 5.29 : Kablo geometrisi.	42
Şekil 5.30 : Ankraj bölgesi gerilme yayılımı [21].	46
Şekil 5.31 : Ankraj bölgesi [6].	47

Şekil 6.1 : Genel ve yerel eksen takımı.....	51
Şekil 6.2 : Temel planı.....	52
Şekil 6.3 : 12x0,60'' ankraj plakası detayı.....	57
Şekil 6.4 : X doğrultusu ankraj gömülme kaybı.....	58
Şekil 6.5 : Y doğrultusu ankraj gömülme kaybı.....	60
Şekil 6.6 : Ard çekme kutularının yerleşim şartları.....	61
Şekil 6.7 : Ard çekme kayıpları.....	62
Şekil 6.8 : Zımbalama kontrolü.....	64
Şekil 6.9 : G+Q kombinasyonu zemin yerdeğiştirme değerleri.....	65
Şekil 6.10 : G+Q kombinasyonu zemin gerilme değerleri.....	66
Şekil 6.11 : G+Q kombinasyonu x doğrultusu moment değerleri.....	66
Şekil 6.12 : G+Q kombinasyonu kesme kuvveti değerleri.....	67
Şekil 6.13 : X doğrultusu kablo profilinin oluşturulması.....	68
Şekil 6.14 : Y doğrultusu kablo profilinin oluşturulması.....	68
Şekil 6.15 : Kablo yerleşim düzeni.....	69
Şekil 6.16 : Kablo yerleşim planı.....	69
Şekil 6.17 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu zemin yerdeğiştirme değerleri.....	70
Şekil 6.18 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu zemin gerilme değerleri.....	70
Şekil 6.19 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu x doğrultusu moment değerleri.....	71
Şekil 6.20 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu moment değerleri.....	71
Şekil 6.21 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu x doğrultusu kesme kuvveti değerleri.....	72
Şekil 6.22 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu kesme kuvveti değerleri.....	73
Şekil 6.23 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu gerilme değerleri (üst)..	74
Şekil 6.24 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu gerilme değerleri (alt) ..	74
Şekil 6.25 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu x doğrultusu gerilme değerleri (üst)..	75
Şekil 6.26 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu gerilme değerleri (üst)..	75

ARD ÇEKME Lİ RADYE TEMELLER İLE BETONARME RADYE TEMELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Temel, yükü yapıdan zemine güvenli bir şekilde aktaran zeminle doğrudan temas halinde olan, yapının en alt kısmıdır. Şekil değiştirmelere karşı yeterli süneklikte olmak ve yapısal boyutlar, detaylar, uygulanan yükler karşısındaki davranış açısından incelendiğinde temel tasarımının iki temel amacı vardır.

Yapı yüklerinin fazla olduğu ve zemin dayanımının kötü olduğu durumlarda radye temel tercih edilmektedir. Ülkemizde radye temeller yaygın olarak betonarme olarak yapılmaktadır. Betonarme radye temellerde; temel yüksekliğinin arttığı durumlarda beton dökülme aşamasında çıkan zorluklar ya da kademeli olarak dökülmesi, donatı sıklığı ve buna bağlı olarak yerleşiminde yaşanan zorluklar, betonarme radye temeller için dezavantaj oluşturmaktadır.

Ard çekmenin bilinen faydaları birçok ülkede konut ve hafif ticari ve endüstriyel temellerde, otopark ve otoyollarda, havaalanı pistleri ve yüksek binaların temellerinde uygulanmaktadır.

Ard çekmeli temelin amacı, uygulanan yükleri üst yapıdan zemine güvenle aktarmaktır. Ard çekme kuvveti, yükün bir kısmını taşımaktadır. Kalan yük için, yapının, aksel etkiden kaynaklanan basınç gerilmelerine bağlı olarak kesme, zımbalama ve burulmaya karşı direnci artmış olacaktır. Ard çekme, dış yükün etkisini azaltarak ve çatlak oluşumunu engelleyerek ya da geciktirerek eğilmeyi azaltmaktadır. Zemin gerilmeleri açısından incelediğimizde ise oturmaları ve eğilmeleri azaltarak uniform bir zemin gerilmesi oluşmasını sağlamaktadır.

Ard çekme sisteminin avantajlarının yanısıra, deneyimli personel gerektirmesi, kriko, kilit mekanizması gibi özel ekipman gerektirmesi, kabloların yüksek gerilmeler uygulandığında güvenlik önlemi alınması gerekmesi bu sistem açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca gerilme kayıpları, ard çekmenin avantajlı/dezavantajlı olması açısından önemli bir faktördür.

Tez kapsamında 20 katlı bir binanın temeli betonarme radye temel ve ard çekmeli radye temel olarak hem rijit metot hem CSI SAFE yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmüştür.



COMPARISON OF POST TENSIONING MAT FOUNDATION WITH REINFORCEMENT MAT FOUNDATION

SUMMARY

The foundations are structural elements that transfer the loads of the structural system to the ground. The main purpose of foundations safely to transfer applied gravity and lateral loads from the superstructure to the soil without undue deformation of either the foundation or the superstructure. During the transfer, loads acting on the structure are transferred from the foundation to the ground and that settlements and rotations are not occur it is important. Ground stresses occur depending on the type of load, the type of the ground, the stiffness.

In multi-storey buildings, mat foundation is preferred when the soil bearing capacity is very small, building load is too high or the floor basement is below ground water level. The mat foundation minimizes slump differences by jumping weak areas of the foundation like a bridge.

While generally reinforcement mat foundation use in our country, other countries post tensioned foundations system commonly. Despite the widespread use of reinforced concrete mat foundations in our country, the importance of the use of retractable mat foundations is should considered when considering the structural advantages inherent in post tensioning.

Briefly summarizing, post tensioning is a form of prestressing. Prestressing simply means that the steel is stressed before the concrete has to support the service loads. Necessary equipment and material is concrete, prestressing steel, anchorage, duct, grout and bearing plates for post tensioning system. Since the steel is jacking, the prestressing force is reduced. These losses are divided into long and short term. While short-term losses occur during transfer, long-term losses are continuous and continue throughout use. Short-term losses are friction loss, seating of wedges at transfer of prestressing force and elastic shortening. Long-term losses include concrete volume change and relaxation of prestressing steel.

The basic principle of post tensioned mat foundation is the same as the inverted slab. The bending moment and tensile forces on the foundations are the opposite of the effects on the slabs. The tendons are designed to help balance the point loads imposed by the columns and distribute the loads uniformly throughout the entire slab. The function of post tensioning in the mat is essentially to pick up the column loads and distribute the more or less uniformly over the entire plan area of the mat. The tendon layout required for this purpose can be visualized as an upside own flat plate. In ground- supported slabs, the use of post-tensioning tendons puts the concrete into compression before applied loads can deform the slab and before applied tensile stresses cause the slab to crack. Using post tensioned tendons in ground supported slabs can reduces or eliminates restraint to shortening cracks. It can also produce a slab with a higher flexural capacity than a slab of the same thickness that is reinforced with non-prestressed reinforcing. Also post tensioning method

reduces the foundation thickness. In particular, if we examine the advantage of the thickness of the foundation, there may be difficulties in the casting of very thick concrete. Costly chemicals may be required to prevent to the hydration heat. On the other hand, the amount of concrete used in a post-tensioned concrete slab be up to 30% less than that required in traditional reinforced concrete.

Within the scope of the thesis, the foundation of a 20-storey building was solved by both rigid method and finite element method using CSI SAFE program. A comparison is done between the two foundations based on serviceability, strength requirements. It has been found to be a very advantageous system in terms of moment, punching and shear force. In addition, when the soil stresses are examined, it is seen that the stresses are uniformly distributed and affect the stress and positively.

The foundation of a 20-storey building is chosen for the solution. Foundation is symmetric both x and y direction. This 4-span system consists of 25 columns in total. There are 3 m cantilever in x and y direction. The console is made to reduce the ground stress value and to create a punching circumference. Concrete class is C45. According to TS 500, cylinder compressive strength is 45 Mpa, axial tension strength is 2, 3 and modulus of elasticity is 36000 Mpa. Steel class is S420. According to TS 708, yielding strength is 420 Mpa. Prestressing strand is made of seven wire. Nominal area is 150 square mm, breaking strength is 1860 Mpa. Tendon made of 12 prestressing strand. Jacking force is 75 %.

A combination of load occurs when different types of loads act simultaneously or together in a structure. For the solution, different types of combinations are occurred. This combinations, for the reinforcement mat foundation, G+Q and 1,4G+1,6Q according to TS500. For the post tensioned mat foundations, G+Q+PT-FINAL and G+Q+PT-TRANSFER combinations are examined for post tensioned.

For reinforcement mat foundation, control of punching was carried out according to TS 500. The punching formula in TS 3233 suitable for reinforced concrete slab. Therefore, punching check was performed according to ACI. As a result of the application, while the minimum foundation thickness is 160 cm reinforcement mat foundation, 120 cm on the post tensioned mat foundation. The thickness of the foundation decreased by 25%.

In reinforced concrete foundation design, where the maximum moment is occur need to put $\varnothing 24 / 60$ reinforcement. The frequency of reinforcement causes difficulties in the application phase. The minimum reinforcement when post-tensioned is applied. Particularly in systems where the load is concentrated to a point, post tensioned mat foundations are advantageous. This foundation such as bridge foundation, it is not possible to fit the reinforcement.

Shear force is particularly critical in sub-column regions. In reinforced concrete solution; the shear force value exceeds the design shear force and require additional shear reinforcement. In the other system, the shear force value is greatly reduced and no additional reinforcement is required.

Result of analysis, the maximum ground stress is 308 kN/m² for the G+Q combinations and 293 kN / m² for the G + Q + PT-FINAL combination. Stresses on the ground and settlements are proportional. For combination of G+Q and G+Q+PT-FINAL, the displacement values are 1.54 cm and 1,46 cm, respectively.

In the x and y direction, the maximum moment value in the support zone is calculated as + 2334 kN.m according to G + Q combination and the value of +1195.3 kN.m is for G + Q + PT-FINAL combination. In the x and y direction, the maximum moment value in the aperture region was calculated as -882,8 kN.m for G + Q combination and the value of -485 kN.m is for G+Q+ PT-FINAL combination.

Alongside to the advantages of the post-tensioning system, the need for experienced personnel, the need for special equipment such as jacking, locking mechanism, and the need to take security measures when high stresses are applied to the system are disadvantages. In addition, friction losses are an important factor for the advantageous / disadvantageous. The calculated mat foundation was found very high friction losses. It depends on the layout of the cables. Each fold occurs stress loss. These losses were reduced by stretching at both ends. Alternatively, cables may be divided according to application and field conditions. Therefore; we should consider friction losses both structurally and economically when designing.





1. GİRİŞ

Ard çekme öngerilmenin bir yöntemidir, öngerilme çeliğinin oluşan gerilmelere karşı beton döküldükten sonra gerilmesidir. Bu yöntem betonarme yapılarda kullanılır ve birçok avantaja sahiptir.

Ard çekmeden dolayı oluşan kuvvet ile betonda oluşan iç kuvvetler birbirini dengeler. Bunun sonucunda daha yüksek bir çatlama direnci, rijitlik, su geçirmezlik sağlar. Ayrıca, hidrasyon çatlaklarının oluşmasını geciktirir. Öngerilmeden dolayı oluşan kuvvet ve betonda oluşan iç kuvvetler birbirini dengeler ve kesme kuvvetinin azalmasını sağlar.

Betonarme radye temeller, zemin gerilmesinin düşük olduğu ve/veya yapıya etkileyen yükün fazla olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Fakat bazı durumlarda, gerek zemin gerilmeleri açısından gerek kesite donatı yerleştirilmesi açısından zorluklarla karşılaşmaktayız. Ard çekmeli radye temeller ile bu gibi problemlerin önüne geçilmektedir. Zemin gerilmelerini azaltması ve uniform yayılmasını sağlaması, gelen yükleri öngerme kuvveti etkisiyle dengelemesi, kesit yüksekliğinde azalma sağlayarak beton döküm sırasında karşılaşılan zorluklar ya da kademeli beton döküm problemlerini azaltması ard çekmeli radye temelin önemini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bu iki sistem incelenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı gelişmiş bir anlayışla ard çekmeli temel sistemlerinin daha iyi bir şekilde anlaşılmasıdır.



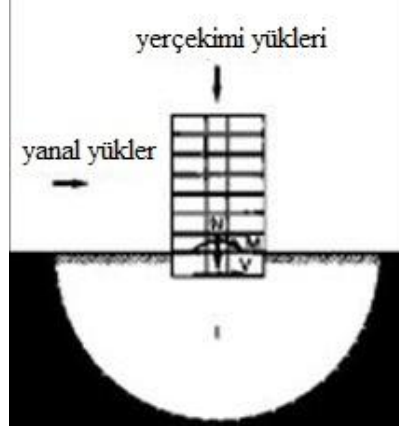
2. TEMEL TASARIMINDA ÖNEMLİ HUSUSLAR

Temellerin görevi, üst yapıdan gelen yükleri temel zeminine aktarmaktır. Temel zemini öteki yapı bölmlerine benzer biçimde, üst yapının etkisi altındaki bölgelerde gerilme ve şekil-değiştirmeye uğrar. Yapı ile temel zemini arasında kuvvetlerin aktarılma biçimi, bunun temel zemini üzerine etkisi ile yapı üzerindeki tepkisi; yalnızca bu kuvvetlerin etki biçimi, büyüklüğü, doğrultusu ve dağılımına veya yapı ile zemin arasındaki sınır yüzeye bağlı olmayıp, aynı zamanda zemin ve yapının çok farklılık gösteren fiziksel özelliklerine de bağlıdır [1].

Tasarımın iki temel amacı olacaktır. İlk olarak, yapının deformasyonlara karşı yeterli süneklikte olmasıdır. İkincisi, yapısal boyutlar ve detaylar, uygulanan yüklere karşı koymak için tutarlı bir denge analizi temelinde belirlenecektir.

Temel tasarımında iklim, zemin, yapı parametleri çok iyi bilinmelidir. Temel tasarımı, uygulanan yüklerin ve şekil değiştirmelerin etkilerini ele alır. Genel olarak, uygulanan yüklerle ilgili olarak temele etki eden kuvvetlerin sonuçlarına ilişkin çok az belirsizlik vardır. Bununla birlikte, zemin yapı etkileşiminin analizine farklı yaklaşımlar, bu kuvvetlerin farklı dağılımlarına neden olur ve farklı kuvvetler ve moment kümesiyle sonuçlanır. Moment ve iç kuvvetler arasındaki fark kalıcı gerilme durumuna neden olur. Önemli olan kalıcı gerilmelerin geri dönüşümsüz deformasyonların meydana gelmesi üzerine değiştirilmesi gerçeğinde yatmaktadır. Bu nedenle, eğer yapı ilk etapta yeterli süneklik sağlıyorsa, boyutlandırması prensip olarak, dıştan uygulanan yükleri dengeleyen iç kuvvetler ve momentler kümesine dayanır [2].

Şekil 2.1, yapı ile zemin arasındaki etkileşimi göstermektedir. Yerçekimi ve yanal yükler, temelin çevresinde zeminin belirli bir bölgesinde önemli gerilmelere ve şekil değiştirmelere neden olur. Üst yapının tabanında belirlenen reaksiyonlar, temel üzerine etki eden yük olarak uygulanır ve ortaya çıkan kuvvetler ve momentler temelin boyutlandırılmasında kullanılır.



Şekil 2.1 : Yapı – zemin etkileşimi [2].

2.1 Zemin Parametreleri

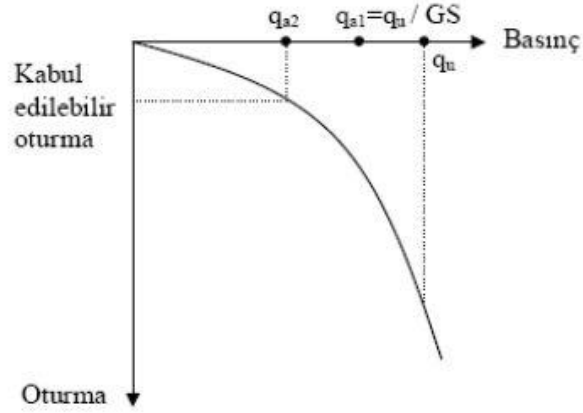
Zeminlerin taşıma gücü temel altındaki kayacın birim hacim ağırlığına, kayma mukavemetine (kohezyon, içsel sürtünme açısı), ilk gerilme durumuna, deformasyon karakteristikleri gibi mekanik özelliklerine ve su baskısı (hidrolik) şartına bağlı olduğu kadar temelin büyüklük, derinlik, biçim, taban pürüzlülüğü ve taşıdığı yük değeri gibi özelliklerle tasarım metoduna da bağlıdır.

Zeminlerin kayma göçmesine karşı ulaşabileceği en büyük mukavemet nihai taşıma gücü (q_u) olarak isimlendirilir. Bu değer in güvenlik katsayısına bölümünden ise zemin emniyet gerilmesi (q_a) değerine geçilir. Güvenlik katsayısı genellikle '3' alınmaktadır. Fakat bu değer tüm zeminleri temsil edememektedir. Bu yüzden bazı araştırmacılar güvenlik katsayısını V_p/V_s olarak tanımlamışlardır. Bu yaklaşım (zeminlerin heterojen olduğu bilindiği için) daha doğru bir yaklaşımdır [3]. Taşıma gücü göçmeleri; genel kayma göçmesi, zımbalama göçmesi ve bölgesel kayma göçmesi nedeniyle oluşabilir.

Yüzeysel temellerin tasarımında; taşıma gücü (kısa ve uzun dönem), miktar ve hız açısından oturmalar, şişme ve büzülme değerlendirmesi gereken konulardır.

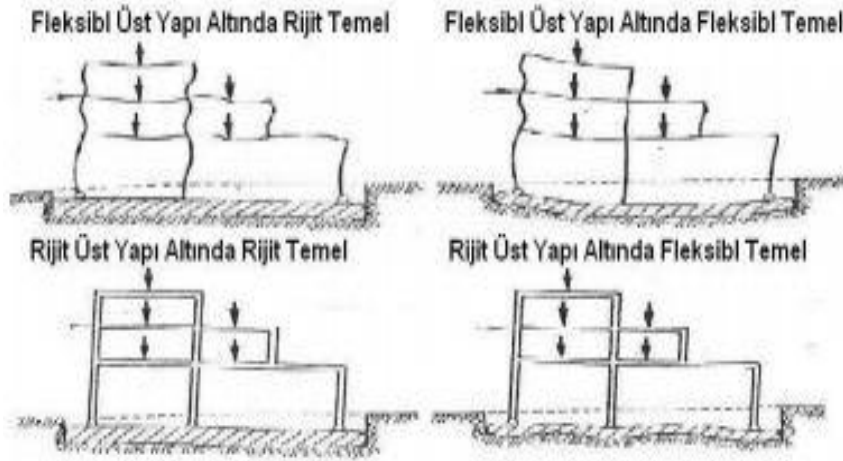
Zeminlerin taşıma gücü; yerin göçmeden, ayrı ayrı oturma yapmadan taşıyabileceği en büyük yük miktarıdır [4]. Zemindeki oturma ise yükler sonucunda zeminde meydana gelen hacim değişikliğidir. Konsolidasyon, genellikle düşük geçirgenliğe sahip topraklarda meydana gelen bir oturma türüdür. Oturma hemen gerçekleşirken, konsolidasyon toprağın geçirgenliğine bağlı olarak aylarca veya yıllarca devam edebilir. Mevcut ağaç kökleri konsolidasyonu artırır. Temel, yapının yaklaşık olarak

aynı miktarda oturmasına izin verilecek şekilde tasarlanır. Şekil 2.2’de oturma ve zemin gerilmeleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Taşıma gücü değerlendirmesinde oturma kriteri [4].

Yüzeysel temellerin taban zemininde oluşan oturmaların hesaplanmasında, temellerin zemine göre rijitlikleri belirleyici etkenlerden biridir. Bu nedenle, temel tabanında oluşan oturmaların doğru olarak hesaplanması için, temellerin zemine göre rölatif rijitliklerinin belirlenmesi gerekir [5]. Şekilde rölatif rijitliklere bağlı olarak oturmalar gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Yapı- zemin rölatif rijitliklere bağlı oturma şekilleri [5].

Elastik zemin üzerine oturan yüzeysel temellerin rölatif rijitliği ACI 336’ya göre denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$K_r = \frac{E_t}{12E_d} \left(\frac{h}{a}\right)^3 \quad (2.1)$$

Burada;

E_t = Yüzeysel temellerin elastisite modülü

E_d = Temel zeminin ritijlik modülü

h = Temel kalınlığı

a = Temel uzunluğu

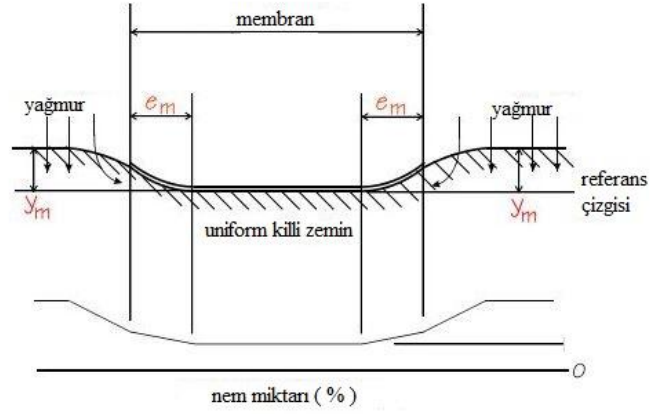
K_r = Yüzeysel temelin, eşdeğer tabakalı elastik zemine göre rölatif rijitliği

Yumuşak zeminlerde, temelin merkezindeki oturmaları hesaplamak için, denklemlerle birlikte analiz de yapılmalıdır. Rijit bir temel zemininde göreceli oturma %10 veya daha az ise üst yapının davranışı için uygun koşullar yaratır [2].

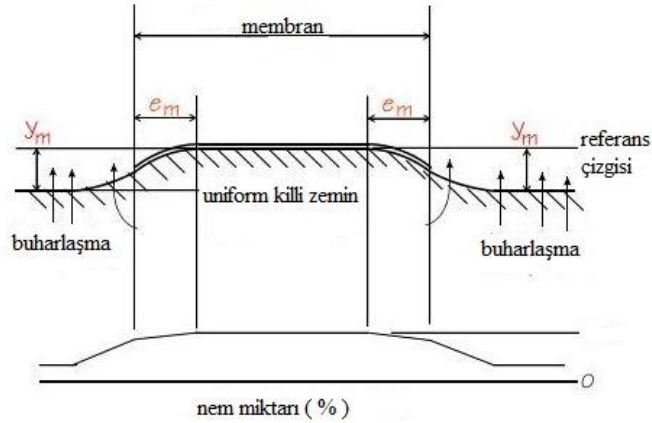
Yük taşıma kapasitesine bağlı olarak zeminler gevşek (çürük) zeminler, sıkıştırılabilir (orta zemin) ve stabil (sağlam) zemin olmak üzere 3 e ayrılırlar.

Killi topraklarda, kenar nem değişim mesafesini ve diferansiyel toprak hareketi dikkate alınması gereken noktalar dır. Killi zeminin taşıma kapasitesinin zemin hareket parametreleri gibi nem değişikliklerine karşı duyarlılıkları farklıdır. (e_m , y_m) bu parametreler, temelin ömrünü belirlemek için kullanılır. Temelin aşırı miktarda hareketi nedeniyle çatlaklar, eğilme ve/veya bir yöne doğru eğilme görülebilir. Bu iki parametrenin doğru bir şekilde belirlenmesi için emiş gücü, serbest şişme ve hidrometre testleri yapılmalıdır. Geoteknik saha araştırmalarında ve verilerinde uygun prosedürlerin kullanılması uygun bir temel tasarımı için önemlidir.

e_m mesafesi, şişme ve buharlaşma etkisinden dolayı temelin etkilendiği mesafedir. Kenardaki nem, merkezdeki nemden daha fazladır. Bu mesafe iklime büyük ölçüde bağlıdır. Diferansiyel toprak hareketi, temel yüzeyi ile hesaplanan e_m arasındaki mesafe boyunca toprak yüzeyinin yükselmesindeki değişimin bir tahminidir. Oluşan zemin hareketi miktarı, topraktaki kil mineralinin tipi ve miktarı, kil tabakalarının derinliği ve tekdüzeliği, başlangıçtaki ıslaklık ve aktif zonun derinliği de dahil olmak üzere çeşitli koşullara bağlıdır. Şekil 2.4 ve şekil 2.5'te de temelde kenar noktalarda gözlenen şişme ve büzölmeye bağlı değişimler gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Nem nedeniyle şişme etkisi [6].



Şekil 2.5 : Büzülme etkisi [6].

Diğer önemli faktör, arazi toprağı özelliklerinden hesaplanan doymamış difüzyon katsayısıdır. “Doymamış difüzyon katsayısı”, α , doymamışlıktaki nem hareketinin bir ölçüsüdür. Geleneksel geoteknik uygulamalarda bu değişken nadiren ölçülür, varsayım yapılır.

2.2 Yapı Parametreleri

Temelin yapısal işlevi zemin ile üst yapı arasında tampon görevi görmesidir.

Uygulanan servis yükleri altında (zeminde iklimden kaynaklı nem değişiminden dolayı oluşan zemin basıncı da dahil) oluşan moment, kesme, ve eğilme hesaplanır. Moment ve kesmenin neden olduğu beton gerilmeleri hesabında, betonun çatlamamış olduğu varsayılır. Diferansiyel eğilmeler, üst yapının deformasyon uyumluluğunun

bir fonksiyonu olan bir minimum temel rijitliği sağlayarak kabul edilebilir değerlerle sınırlıdır.

Tasarım yaparken çatlak oluşmadığı varsayılsa da çoğu temelerde rötre çatlakları oluşur. Araştırmalarda rötre ve eğilme çatlağının etkileri incelenmiştir, büzölme çatlaklarının oryantasyonu ve konumu nedeniyle etkisi dikkate alınmayabilir.

Temelin boyutlandırılmasında; minimum kalınlık, zemin emniyet gerilmesi, süneklik, kesme kuvveti, zımbalama kuvveti dikkate alınmalıdır. Fakat genel olarak temel kalınlığının belirlenmesinde genellikle zımbalama dayanımı etkili olmaktadır.



3. KİRİŞSİZ RADYE TEMELLER

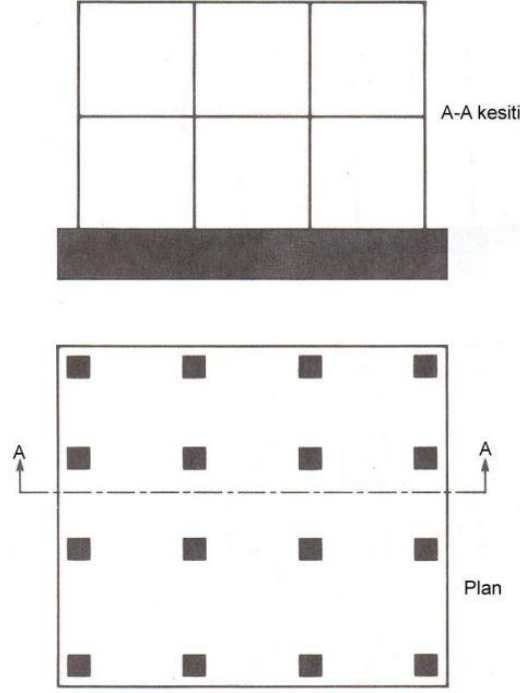
Temeller, uygulanan düşey ve yatay yükleri, gereğinden fazla deforme olmadan ve zeminin taşıma kapasitesini aşmadan üst yapıdan zemine aktaran yapılardır.

Temellerin, üst yapıdan gelen yükleri taşıyabilmesi için çeşitli şartları sağlaması gerekir. Bu gereklilikler stabilite ve şekil değiştirme sorunlarını ele alır. İlk olarak, temel derinliği zemin içerisindeki donma ve çözülmelere karşı donma çizgisinin altında olmalıdır. Çünkü, donma ve çözümler zeminin şişmesine ve büzülmesine neden olur ve oturma problemleri oluşabilir. Ayrıca, zımbalama, kayma, dönme gibi kontrollerin de yapılması gerekir. Temellerin nem ve diğer zararlı maddelere maruz kalması nedeniyle, korozyonun da ele alınması gerekir. Ek olarak, temel, yeni kazılar gibi çevresindeki saha koşullarında değişiklik olması durumunda amaçlandığı gibi performans göstermeyebilir, bu nedenle oturma ve diferansiyel hareketler de üst yapı ve temelin performansına zarar vermeyecek şekilde sınırlandırılmalıdır [7].

Çok katlı binalarda yapı yükünün fazla olması, az katlı binalarda zemin taşıma gücünün çok az olması, bodrumlu binalarda bodrum tabanının yer altı su seviyesinin altında olması durumlarında radye temel tercih edilir. radye temel zeminin zayıf bölgelerini köprü gibi atlayarak çökme farklarını azaltır [7].

Kirişsiz radye temelin çalışma esası, ters yerleştirilmiş plak (döşeme) gibidir. Yapı ağırlığı büyük ya da zeminin taşıma gücü düşükse bütün yapının altına tek bir plak temel yapılması uygun olur; imalat sırasında kolon ve perdeler doğrudan kirişler olmaksızın plağa oturtulur. Zımbalama etkisi, özellikle kolon ve perde bölgelerinde incelenmesi gereken en önemli problemlerden biridir. Bu nedenle zımbalama kontrolü mutlaka yapılmalıdır, gerekirse plak veya kolon tabanı çevresi kalınlaştırılmalıdır. Genelde temel altındaki zemin gerilmelerini küçültebilmek için temel, planda yapı oturma alanının bir miktar dışına taşırılır. Kesin bir hesap yapılmadığı takdirde konsol boyu, kenar açıklık l olmak üzere $l/5$ veya $l/4$ alınabilir (minimum 50 cm) [8].

Şekilde 3.1’de kirişsiz radye temele ait plan ve kesit gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kirişsiz plak için plan ve kesit örneği.

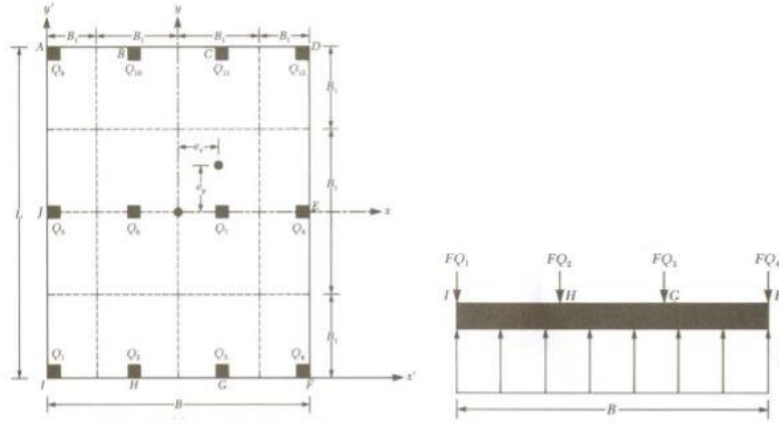
3.1 Çözüm Yöntemleri

Radye temellerin yapısal analizi, çeşitli analiz yöntemleriyle gerçekleştirilebilir. Bu bölümde rijit yöntem, elastik yöntem, kirişsiz plak moment katsayıları yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi incelenecektir. Yöntemler arasında karşılaştırma yapılırsa rijit metot oldukça muhafazakar, elastik metot ise en ekonomik çözüm yöntemidir.

3.1.1 Rijit Metot

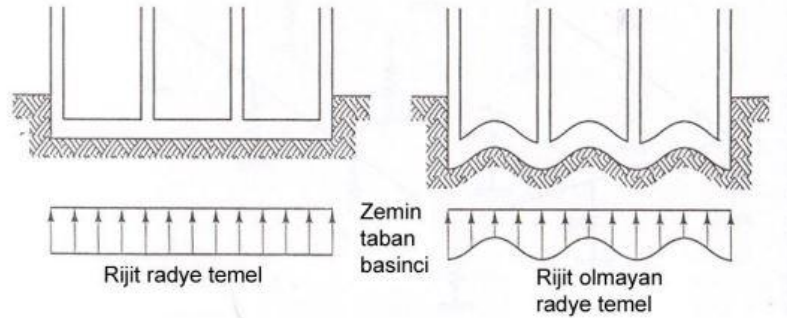
Geleneksel metot olarak da bilinir. Temelin sonsuz rijit ve zemin basıncı dağılışının lineer olduğu kabulü yapılır. Taban basıncı aksenal yük varsa uniform, aksenal olmayan yük veya moment temel boyunca lineer olarak dağılır.

Bu metotta, yüklerden dolayı zeminde oluşan gerilmelerin zeminin taşıma kapasitesini aşıp aşmadığı kontrol edilir. Temelin analizi için plak her iki yönde şeritlere ayrılır. Her bir şerit için moment ve kesme diyagramları oluşturulduktan sonra, her yön için pozitif ve negatif momentler belirlenir. Bu momentler, üstte ve altta donatı yerleşimi için kullanılır. Bu yöntemde temelin sonsuz rijit olduğu kabul edilir ve uniform bir zemin gerilmesi olduğu anlamına gelir. Şekil 3.2'de kirişsiz radye temelin alanı ve zemin gerilmelerinin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Zemin gerilmelerinin dağılımı [9].

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi radye gerçekte rijit değildir bu yüzden kolonların altındaki oturmalar, yüklenmemiş alanlardaki oturmalarından daha büyüktür. Bu farklı oturmalar, zemin taban basıncında ve radye eğilme gerilmelerinde değişikliklere neden olmaktadır [10].



Şekil 3.3 : Temel rijitliğine bağlı zemin gerilmelerinin değişimi [10].

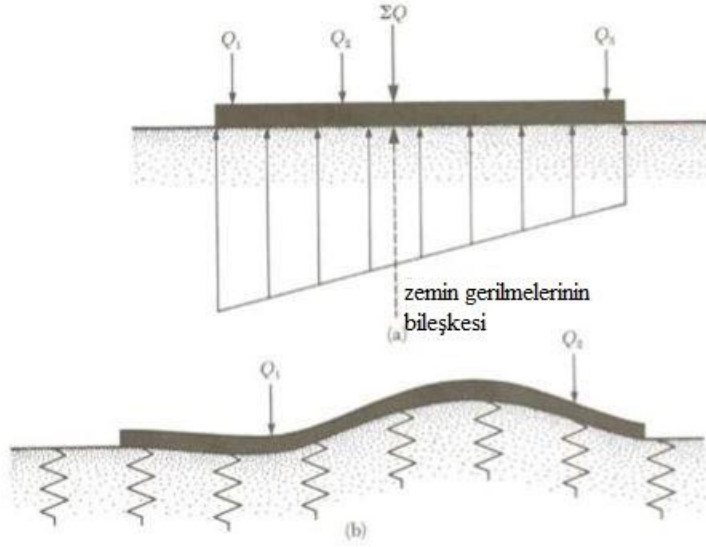
3.1.2 Elastik yöntem

Elastik zemine oturan plak ve kiriş problemi Winkler (1867) tarafından incelenmiş ve teoremin esasları belirlenmiştir. Bu yöntemde zeminin sonsuz sayıda yaylardan oluştuğu varsayılır. Bu teori, q zemin tepkilerinin, w plak çökmeleri ile doğru orantılı olduğu kabulüne dayanarak

$$q(x, y) = kw(x, y) \quad (3.1)$$

bağıntısını vermektedir.

Bu ifadeden (3.1) birbirinden bağımsız düşey doğrultuda çalışan, lineer elastik yaylardan oluşan ve yükün etkideği yaylarda çökmeler oluşan bir sistem olduğu kabul edilmiştir. Şekil 3.4'te elastik metot yaklaşımı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Elastik metot [9].

Bu yöntem, her bir kolon yükünün oluşturduğu moment, kesme kuvveti ve eğilme momentini değerlendiren plak teorisine dayanmaktadır. İlk adım temelin kalınlığını belirlemek ve kalınlığa bağlı olarak temelin eğilme rijitliğini hesaplamaktır. Varsayılan bu temel kalınlığı için zımbalama kuvveti hesapları yapılmaktadır. Eğilme rijitliği ve zemin yatak katsayısı kullanılarak etkili rijitlik yarıçapı hesaplanır. Bir sonraki yöntem ise momentin belirlenmesidir. Kesme kuvveti ise temelin birim genişliği için belirlenir. Son olarak uygun teknik ve analiz yöntemleri ile eğilmeler hesaplanır.

$$L' = \sqrt[4]{\frac{R}{k}} \quad (3.2)$$

Burada;

k =yatak modülü

$$R = \frac{E_f h^3}{12(1 - \mu_f^2)} \quad (3.3)$$

Burada;

E_f = elastisite modülü

μ_F = poisson oranı

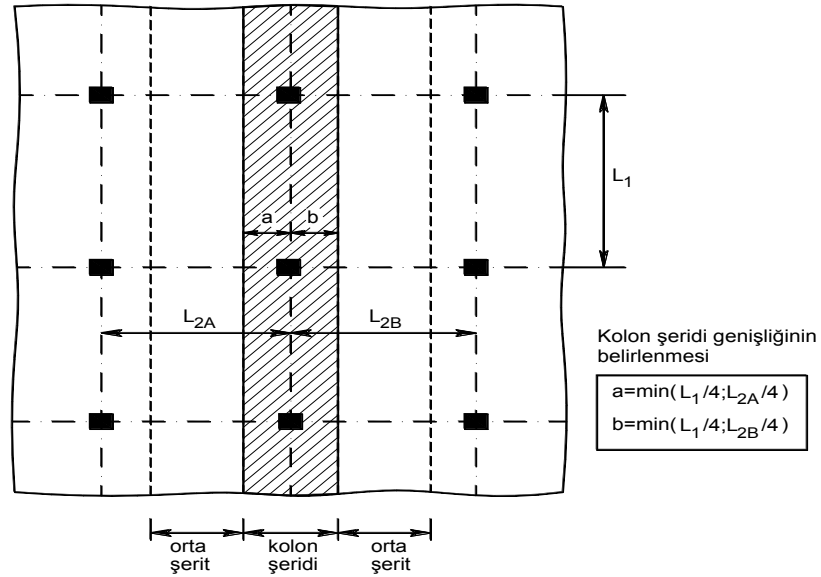
h = temel kalınlığı

3.1.3 Kirişsiz Plak Moment Katsayıları Yöntemi

Betonarme kesit hesabı için temel plağı öncelikle her iki doğrultuda kolon ve orta şeritlere ayrılır. En elverişsiz durum için yatay ve düşey yükler altında gerçekleştirilen çözüm sonrası genişlikleri bilinen bu şeritlere gelen eğilme momentleri belirlenir. Bu kuvvetler altında sistemin betonarme kesit hesabı yapılırken, temel sistemi, plağa etkimesi muhtemel yükler dikkate alındığında (zemin gerilmeleri, ağırlık yüklerü, kolon ve perde yükleri gibi) ters dönmüş kirişsiz döşeme gibi düşünülebilir ve hesaplar bu düşünce tarzına göre yapılabilir [8]. Kolon şeridi genişliği denklem 3.4 ve denklem 3.5'e göre belirlenir. Şekil 3.5'te plağın şeritlere ayrılışı gösterilmiştir.

$$a = \min\left(\frac{L_1}{4}; \frac{L_{2A}}{4}\right) \quad (3.4)$$

$$b = \min\left(\frac{L_1}{4}; \frac{L_{2B}}{4}\right) \quad (3.5)$$



Şekil 3.5 : Kirişsiz plak yönteminde şeritlere ayırma işlemi.

Toplam statik moment;

$$M_0 = \frac{P_d l_2 l_n^2}{8} \quad (3.6)$$

Burada,

P_d = Eşit yayılı hesap yükü

l_2 = Hesaplanan doğrultuya dik iki açıklığın ortalama uzunluğu

l_n = Hesap yapılan doğrultudaki açıklık

Elde edilen moment açıklık ve mesnetlere dağıtılır. İç açıklıklara $0,35 M_0$, kenar açıklıklara $0,50 M_0$, mesnet momentine $0,65 M_0$, dış mesnet momentine ise $0,30 M_0$ gelecek şekilde dağıtılır.

3.1.4 Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yönteminin esası çözüm aranan yapıyı, bölgeyi ya da cisimi çok sayıda küçük sonlu elemanlara, kısaca elemanlara, bölmektir. Bir, iki veya üç boyutlu olabilen bu elemanlar düğüm ya da düğüm noktası adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilir. Bu yöntem, genellikle bilgisayar programı ile çözülür. Sonsuz adet noktayı sonlu adet noktaya indirgeme yani meshleme işlemi yapılır. Bu indirgenen noktalara düğüm noktası denilmektedir. Düğüm noktalarının birleşmesi ile 2 ya da 3 boyutlu şekiller oluşmaktadır ve eleman olarak isimlendirilmektedir. Analiz için, temel düğüm noktalarında birbirine bağlı ayrı elemanların bir ağı gibi modellenir.

Sonlu elemanlar analizinde zemin yay olarak modellenir ve temelin düz bir plak gibi eğilme etkisinde analizi yapılır. Her düğüm noktasındaki yaylarda oluşan tepki kuvvetleri zemin gerilmesi modeli olarak kullanılır.

4. TİPİK BETONARME SİSTEM

Bilindiği üzere, beton yüksek basınç dayanımına sahipken çekmede nispeten daha zayıftır. Çelik ise yüksek çekme dayanımına sahiptir. Beton ve donatıdan oluşan ve betonarme olarak adlandırılan bu malzemede donatı; çekme etkilerinin, kısmen de kayma gerilmelerinin karşılanmasında etkili olduğu gibi, malzemenin sünek davranış göstermesine de katkıda bulunmaktadır. Beton ise basınç gerilmelerinin karşılanmasında etkili olduğu gibi, etrafını sararak donatının burkulmasını önlemekte, malzemenin dış ortama karşı dayanıklılığını ve yangın dayanımını arttırmaktadır [7].

4.1.1 Beton ve bileşenleri

Betonun temel bileşenleri portland çimentosu, su ve agregadır. Gerekli durumlarda kimyasal ve mineral katkı maddeleri de eklenebilir.

Betonun karakteristik dayanımı arasında basınç dayanımı ve çekme dayanımı bulunur. Özellikle, betonun basınç dayanımı tipik olarak 3000-7000 psi'dir, betonun çekme dayanımı ise basınç dayanımının yaklaşık % 8 ila % 15'i arasındadır. Genellikle, betonun çekme dayanımı tasarım hususlarında ihmal edilir [11].

TS 500'e göre beton sınıf ve dayanımları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Beton sınıfı ve dayanımı.

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı Mpa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} Mpa	28 Günlük Elastisite Modülü, E_c Mpa
C16	16	20	1,4	27000
C18	18	22	1,5	27500
C20	20	25	1,6	28000
C25	25	30	1,8	30000
C30	30	37	1,9	32000
C35	35	45	2,1	33000
C40	40	50	2,2	34000
C45	45	55	2,3	36000
C50	50	60	2,5	37000

4.1.2 Çelik

Donatılar TS 708'e uygun olmalıdır. Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Donatı çeliği mekanik özellikleri ve dayanımı.

Mekanik Özellikler	Donatı Çubukları			Hasır Donatı		
	Doğal Sertlikte			Soğukta İşlem Görmüş		
	S220a	S420a	S500a	S420b	S500bs	S500bk
Minimum akma dayanımı f_{yk} (Mpa)	220	420	500	420	500	500
Minimum kopma dayanımı f_{su} (Mpa)	340	500	550	550	550	550
$\phi \leq 32$ Minimum kopmauzaması ϵ_{su} (%)	18	12	12	10	8	5
Minimum kopma uzaması ϵ_{su} (%)	18	10	10	10	8	5

4.2 Kirişsiz Radye Temellerin Betonarme Çözümü

Kirişsiz plak moment katsayıları yöntemi ile çözülecektir. Radye temelin kalınlığı zımbalama tahkikine göre belirlenir. Zımbalama kontrolleri kolon çevresinden $d/2$ mesafe için yapılır.

$$V_{pr} \geq V_{pd} \quad (4.1)$$

$$V_{pr} = \gamma * f_{ctd} * \mu_p * d \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{\gamma} = 1 + 1,5(e_x + e_y) / \sqrt{b_x b_y} \quad (4.3)$$

$$V_{pd} = N - F_a \quad (4.4)$$

$$F_a = qs * (b + d) * (h + d) \quad (4.5)$$

Burada;

V_{pr} = Zımbalama taşıma gücü

V_{pd} = Tasarım zımbalama kuvveti

γ = Eğilme etkisine bağlı katsayı

f_{ctd} = Betonun tasarım çekme dayanımı

μ_p = Zımbalama çevresi

e_x, e_y = Dışmerkezlik

Zemin taşıma gücü hesaplanmalıdır. Temel tabanında belirlenen en büyük gerilme zemin emniyet gerilmesinden küçük olmalıdır.

$$\sigma_{zmaks} \leq \sigma_{zem} \quad (4.6)$$

Zımbalama ve zemin taşıma gücü tahkiklerinden sonra açıklık ve mesnet momenti hesabı yapılır. Bu moment kirişsiz plak moment katsayıları yöntemi ile yapılacaktır.

$$M_0 = \frac{P_d l_2 l_n^2}{8} \quad (4.7)$$

Burada;

P_d = Eşit yayılı hesap yükü

l_2 = Hesaplanan doğrultuya dik iki açıklığın ortalama uzunluğu

l_n = Hesap yapılan doğrultudaki açıklık

Elde edilen moment açıklık ve mesnetlere dağıtılır. İç açıklıklara $0,35 M_0$, kenar açıklıklara $0,50 M_0$, mesnet momentine $0,65 M_0$, dış mesnet momentine ise $0,30 M_0$ 'ın dağıtılması ilkelere göre yapılacaktır.

İç açıklıkta;

Açıklık momenti $0,35 M_0$;

Kolon şeridinde;

$$M_a^k = 0,60 \times \text{açıklık momenti} (0,35 M_0) \quad (4.8)$$

Orta şeritte;

$$M_a^o = 0,40 \times \text{açıklık momenti} (0,35 M_0) \quad (4.9)$$

Mesnet momenti $0,65 M_0$;

Kolon şeridinde;

$$M_a^o = 0,40 \times \text{a\cıkılık momenti} (0,35 M_0) \quad (4.10)$$

Orta Şeritte;

$$M_m^o = 0,25 \times \text{mesnet momenti} (0,65 M_0) \quad (4.11)$$

Kenar a\cıklıkta;

A\cıklık momenti $0,50 M_0$;

Kolon Şeridinde;

$$M_a^k = 0,60 \times \text{a\cıkılık momenti} (0,50 M_0) \quad (4.12)$$

Orta Şeritte;

$$M_a^o = 0,40 \times \text{a\cıkılık momenti} (0,50 M_0) \quad (4.13)$$

Mesnet momenti $0,70 M_0$;

Kolon Şeridinde;

$$M_m^k = 0,75 \times \text{mesnet momenti} (0,70 M_0) \quad (4.14)$$

Orta Şeritte;

$$M_m^k = 0,25 \times \text{mesnet momenti} (0,70 M_0) \quad (4.15)$$

Dış mesnet momenti $0,30 M_0$;

Kolon Şeridinde;

$$M_m^k = 0,75 \times \text{mesnet momenti} (0,70 M_0) \quad (4.16)$$

Orta Şeritte;

$$M_m^o = 0,25 \times \text{mesnet momenti} (0,70 M_0) \quad (4.17)$$

Bu değerler doğrultusunda moment diyagramları \cızilir.

\cift doğrultuda \calıŐan d\c{oŐemeler i\c{in, her iki doğrultuda koyulacak donatıların toplamı i\c{in minimum donatı oranı denklem 4.18'da verilmiştir.

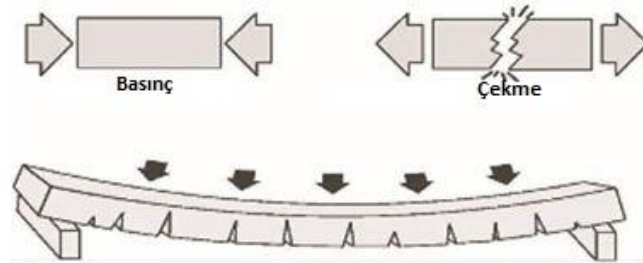
$$\min A_s = 0,035 * B * H \quad (4.18)$$

5. ARD ÇEKME YÖNTEMİ

Öngerilmeli betonun bir yöntemidir. Batı dillerindeki (post-tension) ‘post’ öneki öngerme çeliğinin beton döküldükten sonra gerildiği anlamına gelir.

Ard çekme betonun esaslarını anlamak için çelik ve betonun yapısal özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Ard çekme, birbirini tamamlayan iki malzemenin mükemmel dengesini sunar. Beton basınçta güçlü ve çekmede nispeten zayıftır. Betonun çekme gerilmesi, basınç dayanımının yaklaşık % 10’u kadardır. Diğer yandan; öngerilmeli çelik çok güçlü bir çekme gerilmesine sahiptir ve bu da, yaygın olarak kullanılan takviye çubuklarının yaklaşık dört katıdır. Yapıda, çeşitli yüklerin neden olduğu basınç ve çekme kuvvetleri ikisinin kombinasyonu ile karşılanabilir.

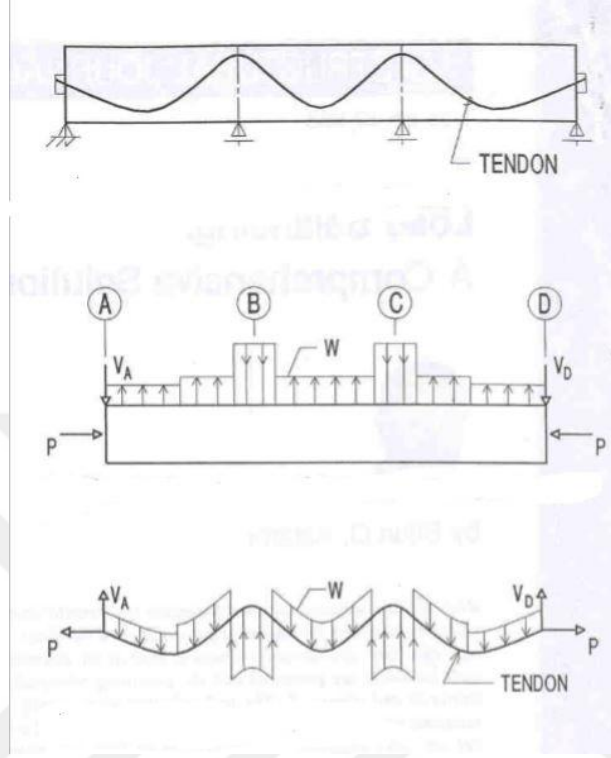
Yük altında bir beton eleman eğilmeye çalışır. Basitçe desteklenen bir kirişle, şekil 5.1’de gösterildiği gibi bu etki mesnette basınca ve beton elemanın orta bölgesinde (açıklık ortası) çekme gerilmelerine neden olur.



Şekil 5.1 : Kesitte oluşan basınç ve çekme gerilmeleri.

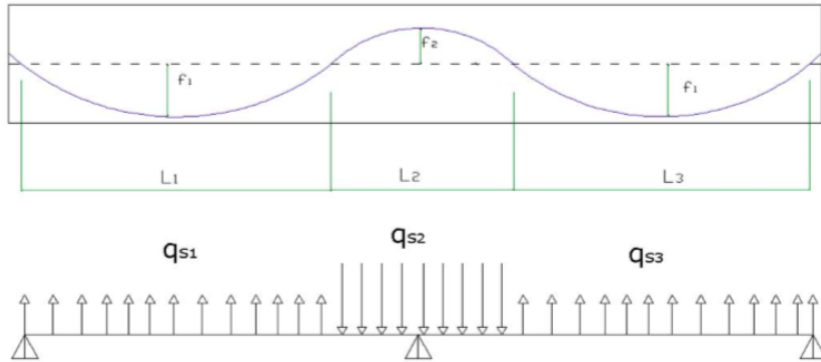
Oluşan gerilmelere karşı koyacak kuvveti oluşturmak için, betonda oluşan çekme gerilmesinin bir kısmını karşılayacak şekilde, yapı elemanına öngerilmeli çelik yerleştirilir. Ard çekme uygulandığında, tendon uzunluğu ve hattı boyunca aksiyel kuvvet oluşur ve yüklerden kaynaklanan eğilmeye karşı koyar. Öngerilmeli betonun oluşturduğu kuvvet, kullanılan çeliğin miktarına ve tendonların yerleştirilme düzenine göre değişir.

Şekil 5.2’de 3 açıklıklı kirişe ait sadece kirişe etkiyen sabityükler altında ve ard çekme etkisi altında oluşan serbest cisim diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda da görüldüğü üzere kesite öngerilme kabloları ile zıt yönde kuvvet verilmektedir.



Şekil 5.2 : 3 açıklıklı kirişe ait serbest cisim diyagramı [12].

Şekil 5.3’te de görüldüğü gibi ard çekme etkisiyle, yapıya etkiyen yükler sonucunda oluşan M_0 momentine ters yönde M_s sapma momenti meydana gelir. Kesit bu iki momentin etkisi altında tahkik edilir.



Şekil 5.3 : Sapma kuvveti.

Sapma momenti denklem 5.1 ile hesaplanır.

$$M_s = P * f = \frac{q_s * L^2}{8} \quad (5.1)$$

$$\Delta_M = M_0 - M_s \quad (5.2)$$

5.1 Ard Çekmeli Sistemin Türleri

Aderanslı, aderanssız ve harici olmak üzere üç çeşit ard çekme sistemi mevcuttur.

5.1.1 Aderanssız sistemler

Aderanssız sistemler, tipik olarak korozyon önleyici bir kaplama ile kaplanmış ve haddelenmiş plastik kılıfla korunan tellerden oluşur. Bu durum, telin plastik kılıf içinde hareket etmesini sağlar ve içeri suyun girişini engeller. Teller, sünek demirden ankrajlar ve kamalar kullanılarak betona ankrajlanır. Tel, istenen profili oluşturmak için uzunluğu boyunca demir sehpalara ile desteklenir. Bu sistem; yağlı ve kılıflı öngerme çeliği, ankraj kafası ve ankraj kamasından oluşur.

Tek sarmallı aderanssız sistem, görünümüne göre, standart veya kapsüllenmiş olarak sınıflandırılır. Kapsüllü sistemler tendonun, klorürlere veya diğer zararlı maddelere maruz kalma ihtimalinin bulunduğu agresif ortamlar için gereklidir. Şekil 5.4'te standart ve kapsüllü bir tendon örneğini göstermektedir.



Şekil 5.4 : Standart ve kapsüllü tendon [6].

Aderanssız sistemler; ince, hafif ve esnek kablolar ve dolayısıyla kullanım kolaylığı ve maksimum eksantrisine, sürtünme kayıplarının azalmasını ve korozyona karşı koruma sağlar.

Şekil 5.5'te temellerde aderanssız sisteme ait uygulama örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Aderanssız sistem [6].

5.1.2 Aderanslı sistem

Çoğu harç (enjeksiyon) dolgulu ard çekme sistemleri aderanslı olarak nitelendirilir. Bu sistemde; öngerilme çeliği gerildikten sonra enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon sertleştikten sonra sistem, öngerme çeliği ile beton arasında herhangi bir göreceli hareket olmaksızın ayrılmaz bir bütün gibi davranır. Bu sistem kılıf borusu, çıplak öngerme çeliği, ankraj kafası ve ankraj kamasından oluşur.

Aderanslı sistemler; öngermeli çelikten alınan verimin daha yüksek olmasını ve kuvvetleri kolay transfer edebilmeyi sağlar.

Şekil 5.6'da aderanslı sisteme ait görsel yer almaktadır.



Şekil 5.6 : Aderanslı sistem [6].

5.1.3 Harici sistemler

Bu sistemlerde kablolar yapının dışına monte edilir. Öncelikle köprüler, güçlendirme ve onarım uygulamalarında tercih edilir. Bu sistemlerde, kablo ve tutturulan elaman arasında göreceli harekete izin verildiği için pratikte aderanssız sistem olarak kabul edilir. Şekil 5.7’de köprü kutu kirişinde kullanılan harici ard çekme sistemi gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Harici sistem [6].

5.2 Malzeme ve Ekipmanları

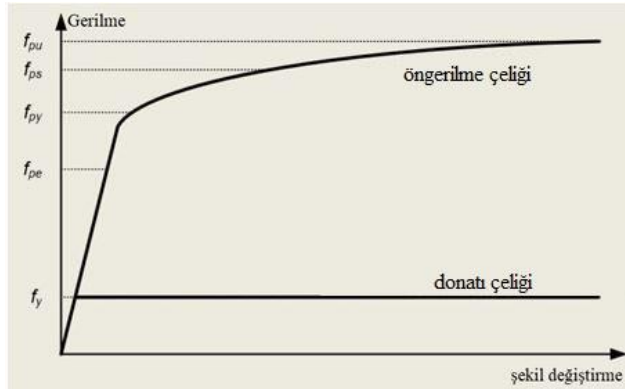
5.2.1 Beton ve bileşenleri

Kullanılacak beton, en az C 35 (beton sınıfı35)’dir. Buna göre 28 günlük beton silindir basınç dayanımı en az 35 N/mm^2 olmalıdır. Çoğu kez C 40, 45,50,55,60 kullanılır [13].

5.2.2 Çelik

Öngerilmeli betonda kullanılan çelik çok sayıda ve her zaman aynı yönde olmayan etkilere maruz kalır. Bu nedenle öngerilmeli beton çeliğinin klasik betonarme çeliğine göre üstün özellikler göstermesi gereklidir. Örneğin; betonda görülen zamana bağlı deformasyon etkilerini sınırlayacak yüksek mekanik dayanımına sahip olmalıdır. Bununla birlikte, depremlerde olduğu gibi, olağanüstü deformasyona maruz kaldığı durumlarda yeterli düzeyde süneklik gösterebilmelidir. Şekil 5.8’de

öngerme donatısı ile donatı çubuğunu gerilme - şekil değiştirme açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.8 : Gerilme – şekildeğiştirme eğrisi [14].

Öngerme donatısı ayrıca, çekme altında korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. Bunlara ek olarak, düşükreleksasyona (iç gevşeme), ayrıca, öngerilmeli betonun binalarda betonarmeyle, köprülerde çelikle rekabet edebilecek düşük maliyete sahip olmalıdır [15].

Geometrik özelliklere bağlı olarak en küçük boyuttaki malzeme teldir. Yedi adet telin bir araya gelmesi ile halat yani kablo oluşmaktadır. Tendonlar ise birkaç kablunun birleşmesiyle oluşmaktadır. Genellikle tendonlar 4, 7, 12, 19, 27, 31 ve 55 adet halattan oluşur.

Çizelge 5.1’de öngerme teli için, çizelge 5.2’de öngerme toronu için, çizelge 5.3’te öngerme çubuğu için mekanik gereklilikler TS 3233 referans alınarak açıklanmıştır.

Çizelge 5.1 : Öngerme teli mekanik özellikleri.

Anma Çapı mm	Minimum Kopma (Çekme) Dayanımı kgf/cm ² (N/mm ²)	Minimum Akma Limiti % 1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme 1)	Kopmada Birim Uzama % (Minimum)	Elastisite Modülü kgf/cm ² (N/mm ²)
1,5 ila ≤ 3,0	18000 (1800)			
>3,0 ila ≤ 4,0	17000 (1700)	Kopma Dayanımının % 80 'İ	4	2,0 x 10 ⁶ (2,0 x 10 ³)
>4,0 ila ≤ 12,0	15000 (1500)			

1) Gerilme-Birim uzama eğrisine % 1 birim uzama değerinden dik çıkılarak elde edilen gerilmedir.

Çizelge 5.2 : Öngerme toronu mekanik özellikleri.

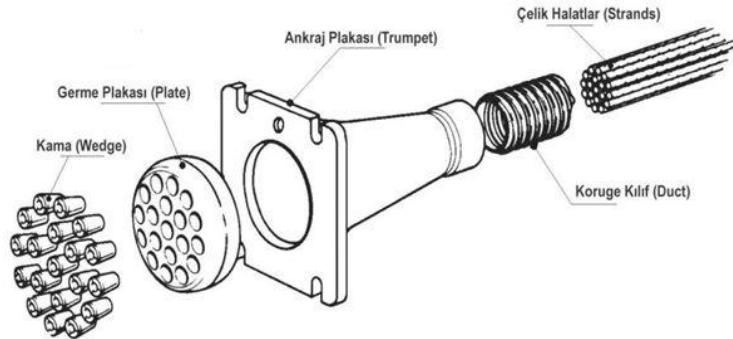
Tel Çapı (mm)	Tel Sayısı	Minimum Kopma (Çekme) Dayanımı (kgf/cm ²) (N/mm ²)	Minimum Akma Limiti = % 1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme	Kopmada Birim Uzama % (Minimum)	Elastisite Modülü (kgf/cm ²) (N/mm ²)
2 ila 3	2 veya 3	16000 (1600)	Kopma Dayanımının	3,5	1,8 x 10 ⁶ (1,8 x 10 ³)
2 ila 4	7	16000 (1600)	% 80 'i		

Çizelge 5.3 : Öngerme çubuğu mekanik özellikleri

Tel Çapı (mm)	Minimum Kopma (Çekme) Dayanımı (kgf/cm ²) (N/mm ²)	Minimum Akma Limiti = % 1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme	Kopmada Birim Uzama % (Minimum)	Elastisite Modülü (kgf/cm ²) (N/mm ²)
7 ila 32	10000 (1000)	Kopma Dayanımının % 90 'i	4	2,0 x 10 ⁶ (2,0 x 10 ³)

5.2.3 Ankraj

Ankrajlar, tendon kuvvetini betona ileten mekanik cihazlardır. Gerilmelerin gerçekleştiği uçtaki ankrajlar aktif ankraj, kabloları sabitlemek için kullanılan ankrajlar kör ankraj olarak adlandırılır. Şekil 5.9 ve şekil 5.10'da aktif ve kör ankraj gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Aktif ankraj.



Şekil 5.10 : Kör ankraj.

Ankraj ayrıca patlatma donatısından oluşur. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi patlatma donatısı; spirallerden, ortogonal takviye çubuklarından veya bunların bir kombinasyonundan oluşan öngerilimsiz çeliktir. Bu donatı; yüksek gerilmelere karşı koymak için gereklidir.



Şekil 5.11 : Patlatma donatısı [6].

5.2.4 Harç

Aderanslı ard çekmede kanallar tendonların gerilmesinden sonra en kısa sürede çimento harcı ile doldurulur. Harç birkaç önemli fonksiyon sağlar. İlk olarak harç; telleri kanala ve dolayısıyla çevresindeki betona bağlar. İkinci olarak, su girişini ve korozyona neden olan maddelerin girişini engeller. Üçüncüsü, harcın alkalinitesi çelik için pasif bir ortam yaratır ve korozyonu önler.

5.3 Uygulama Aşamaları

5.3.1 Kablo teşkili ve yerleştirilmesi

Kabloların hizalanması ve profili büyük önem taşır. Belirlenmiş referans çizgilerine, yarıçaplara, açılara ve aralıklara, ankrajda veya bölmelerde giriş ve çıkış konumlarına göre yerleştirilmelidir.

Düşey sapmaların minimumda tutulmasını sağlamak, uygun tendon profillerinin elde edilmesini sağlar. İzin verilen toleranslar dahilinde uygun kurulumu doğrulamak için ankrajların yeri, yüksek ve alçak noktaların hepsi beton yerleştirmeden önce kontrol edilmelidir. Tendonlar tasarlanan profile uygun olarak yerleştirilmelidir.

Ard çekmeli tendonlarda düşey sapmalar aşağıdaki toleranslar dahilinde tutulmalıdır [6].

Derinlik 8 inç (200 mm) ise +/- ¼ inç (6 mm)

Derinlik 8 (200 mm) ila 24 (610 mm) inç arasında ise +/- 3/8 inç (9 mm)

Derinlik 24 (610 mm) inçten büyük ise +/- 1/2 inç (13 mm)

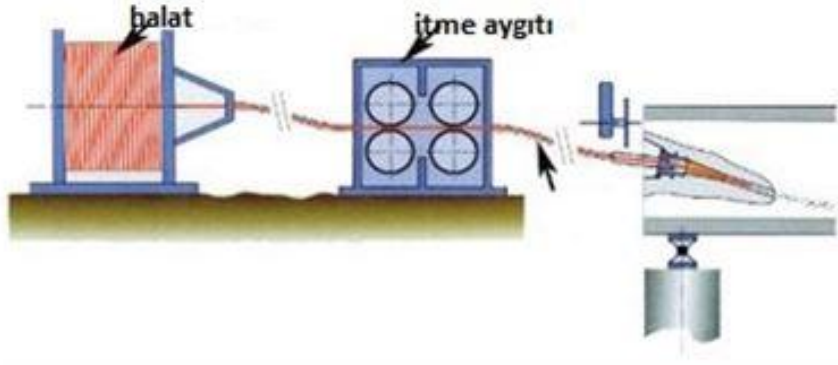
İlk olarak beton dökülmeden önce kılavuzlayıcı kılıf yerleştirilir. Kılıf kalınlıkları 0,3 mm ile 1,0 mm arasında değişebilmektedir. İçine yerleştirilecek halatın kesit alanının yaklaşık iki katına yakın bir boşluk alanına optimum gözüyle bakılır. Ticari üretim boyları 5 ila 8 m arasındadır ve özel manşonlarla eklenirler [15]. Kılıfların yüzeyinde helisel nervürler bulunur ve bu sayede rijitlik ve güçlenme sağlanırken deformasyonlara karşı dayanımı ve beton ile aderansı arttırılmış olur. Kılıf yerleştirildikten sonra, deforme olmadığından emin olunmalıdır.

Öngerilme çeliği, beton dökülmeden önce veya sonra yerleştirilebilir. Bu tendon uzunluğu ve boyutu, imalat yerinde mevcut olan, ard çekme tedarikçisi tarafından sağlanan ekipman ve projedeki uygulama sırasına göre değişmektedir.

Çubuklar kanal içine itilerek ya da kanaldan çekilerek yerleştirilir. En etkili ve ekonomik yöntem çubukları itme yöntemiyle yerleştirmedir. Fakat tendonlar kısa olduğunda tercih edilir.

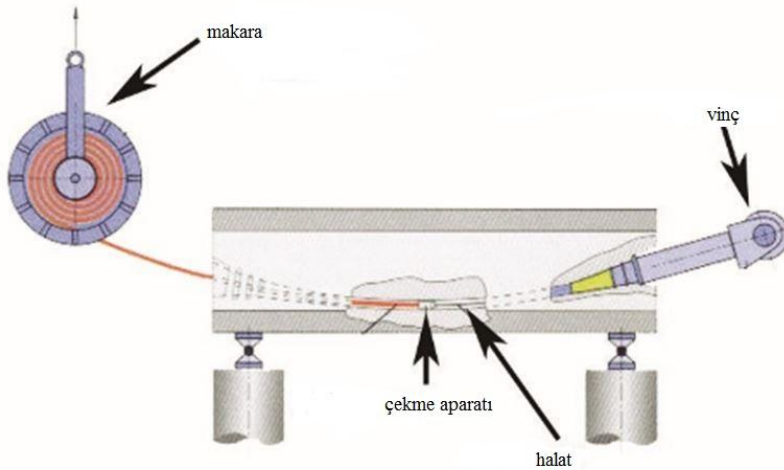
İtme yöntemiyle yerleştirmede, ankrajın yüzüne bir kılavuz manşon takılır. Bu halatı itme makinesiyle kanal arasında yönlendirmek üzere yapılandırılmış bir çelik boru veya başka bir aparat olabilir. İtme makinası mümkün olduğunca klavuz kovanına

yakın yerleştirilir. Makina hareketi önlemek için güvenli bir şekilde sabitlenmelidir. Halatı kanaldan çıkarken durdurmak için tendonun karşı ucuna bir bariyer kurulmalıdır. Şekil 5.12’de itme metodu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Itme metodunun şematik gösterimi [6].

Çekme metoduyla yerleştirmede ise tüm halat demeti bir kerede çekilir. Bu yöntem kanal kısmen tıkanıdığı zaman kabloların montajı için kullanılır. Halat demetini kanaldan çekmek için kullanılan ekipman vinç, kablo maşası, pranga ve halattan oluşacaktır. Vinç 3-5 tonluk bir çekme kuvvetine sahip olmalıdır. Kabloların ve bağlantılı donanımın kırılmamasına dikkat edilmelidir. Şekil 5.13’te çekme metodu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Çekme metodunun şematik gösterimi [6].

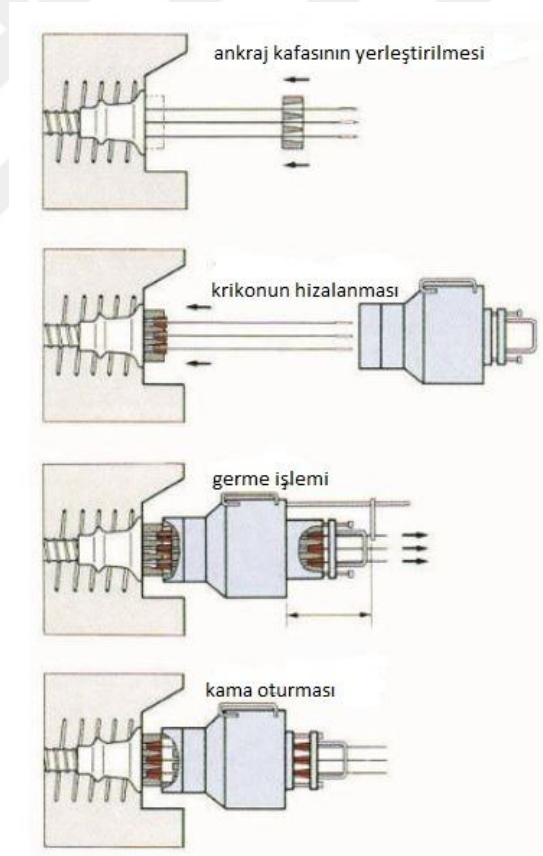
Halatların kılıfın içerisinden geçirilmesiyle bu işlem tamamlanmış olur.

5.3.2 Germe işlemi

Germe işlemi yapılmadan önce ankraj boşluğunun temizlenmiş olduğundan emin olunmalıdır. Ankraj kafalarını yerleştirmeden önce halatların uzunluğunun kullanılan germe elemanı için yeterince uzun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Teller ankraj kafasından geçirilerek yerleştirilir. Halatların ankraj kafasından çapraz geçmeyecek şekilde düzenlenmiş olması gerekir.

Germe makinası takılır. Germe işlemi yapılmadan önce betonun projede belirtilen gerekli minimum dayanıma ulaştığından emin olunmalıdır. Kullanılacak germe aletinin kalibre edilmiş olması gerekir. Germe sonrası çeliğin uzama miktarı ölçülmeli ve hesaplanan değerle karşılaştırılmalıdır. Uzamalar 1/8 inç kadar ölçülmelemdir.

Şekil 5.14'te germe işleminin aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : Germe işleminin aşamaları.

Şekil 5.15'te germe işlemine ait fotoğrafa yer verilmiştir.



Şekil 5.15 : Germe işlemi.

5.3.3 Dolgu ve betonlama

Elemanların yan yüzeylerinde olduğu gibi, alt ve üst yüzeylerinde de ankraj oyukları vardır. Ankraj plağı ve başının oluşturduğu kutunun yerleşik olduğu bölgenin korozyona karşı çok özel korunması ilk amaçtır. Öte yandan, boşluğu dolduran ve ankrajı örten malzeme, o küçük bölgenin sahip olduğu karmaşık yüksek gerilmeler ortamından, fretajla kontrol edilmiş olsa da bir ölçüde etkilenebilir [15]. Bu bilgiler ışığında ankraj boşluğu doldurulmalıdır.

5.4 Ard Çekmenin Temele Uygulanması

Ard çekme yapılarda uzun yıllar başarıyla kullanılmıştır. Ard çekmenin doğasında var olan faydaların temel uygulamalarında da farkına varılmıştır. Konut ve hafif ticari ve endüstriyel temelerde, otopark ve otoyollarda, havaalanı pistleri ve yüksek binaların temellerinde uygulanmaktadır. Yüksek katlı veya diğer ağır yapı temellerinde, ard çekme kabloları kolonların altındaki bölgelerden en düşük noktadan geçecek şekilde parabolik bir eğriyle yerleştirilirler. Kablolar, kolonların oluşturduğu noktasal yükleri dengelemek ve yükleri tüm plak boyunca eşit bir şekilde dağıtmak için tasarlanır [6]. Şekil 5.16'da ard germeli radye temelde kablo

yerleşim düzeni gösterilmiştir. Kablolar tasarlanan formu sağlamak için sehpa ile desteklenmiştir.

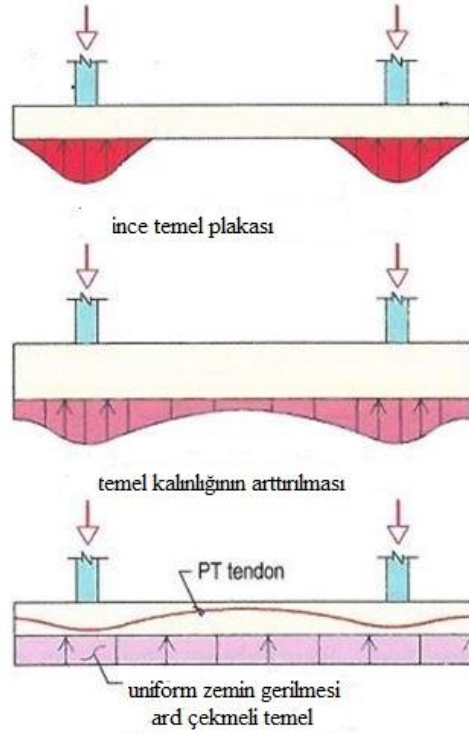


Şekil 5.16 : Ard çekmeli temelde kablo yerleşimi.

Ard çekmeli radye temel ilkesi, ters çevrilmiş döşeme ile aynıdır. Temelerde oluşan eğilme momenti ve çekme kuvvetleri kirişlerde, döşemelerde oluşan tesirlerin tam tersi şeklindedir.

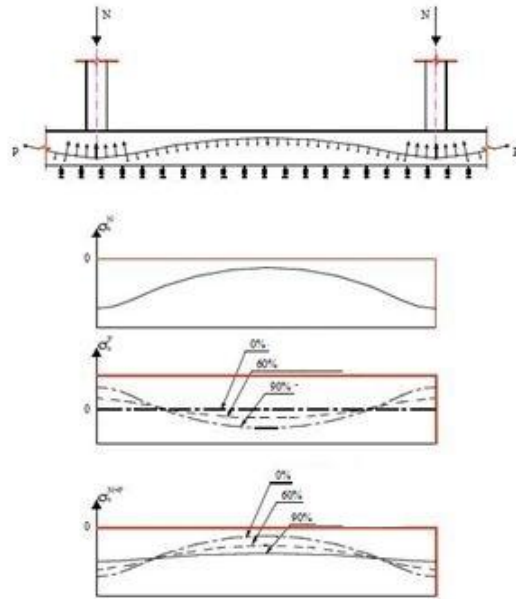
Ard çekmeli temelin amacı, uygulanan yükleri üst yapıdan zemine güvenle aktarmaktır. Ard çekme kuvveti, yükün bir kısmını taşımaktadır. Kalan yük için, yapının, aksenal etkiden kaynaklanan basınç gerilmelerine bağlı olarak kesme, zımbalama ve burulmaya karşı direnci artmış olacaktır. Ard çekme, dış yükün etkisini azaltarak ve çatlak oluşumunu engelleyerek ya da geciktirerek eğilmeyi azaltmaktadır. Zemin gerilmeleri açısından incelediğimizde ise oturmaları ve eğilmeleri azaltarak uniform bir zemin gerilmesi oluşmasını sağlamaktadır.

Örneğin, Şekil 5.17’de temelin kalınlığı arttırılarak ve ard çekme etkilerek gerilme değişimleri gösterilmiştir ve temel kalınlığı arttırılmadan ard çekmeli sistem kullanıldığında artan rijitlik ile gerilmelerin daha düzenli dağıldığı görülmektedir.



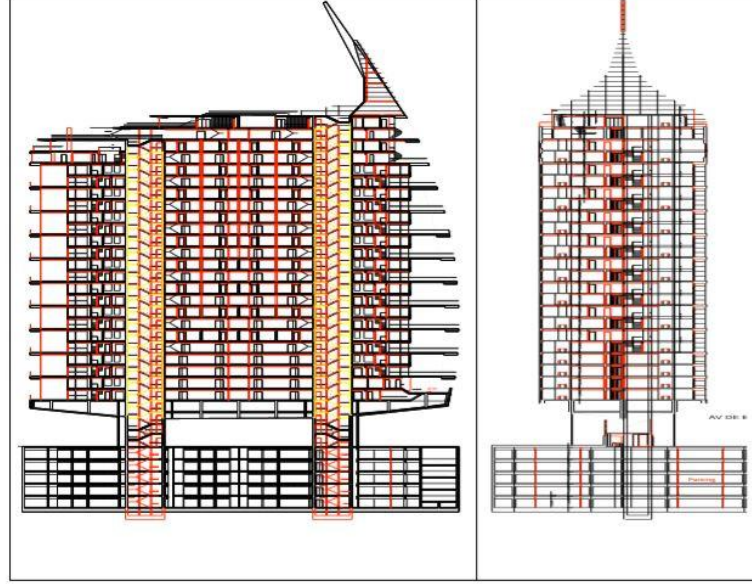
Şekil 5.17 : Ard çekme sistemi ve zemin gerilmesi [16].

Aynı zamanda şekil 5.18’de görüldüğü gibi etkiyen ard çekme miktarı da zemin gerilmesini etkilemektedir. Öngerilme kuvveti P , F kuvvetinin % 60’ını ya da % 90 ‘ını dengeleyecek şekilde seçilmiştir. Şekil sırasıyla F , P ’ye bağlı zemin gerilmeleri F ve P ’nin süperpoze edilmiş etkisi gösterilmektedir [17].



Şekil 5.18 : Öngerilme miktarının zemin gerilmesine etkisi [17].

Gabriel Tower şekil 5.19’da görüldüğü gibi ikiz kulelerden oluşan 25 katlı bir binadır. Kompozit zeminler, betonarme döşemelere bağlı çelik kirişler ve iki önemli yapısal beton çekirdek bu binayı oluşturmaktadır [17].



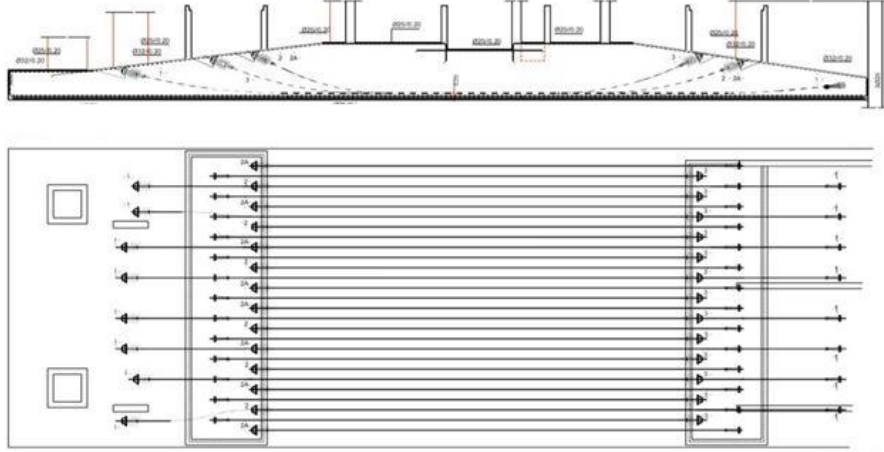
Şekil 5.19 : Gabriel Tower [17].

Zemin koşulları, yaklaşık olarak 500 Kn/m² zemin gerilmesine izin vermiştir. Kabul edilen çözüm 13m x34 m düzlem boyutlarında izole edilmiş bir tabandan oluşur. Öngerilme çeliği ihtiyaç duyulan gerilme kuvveti miktarının bir kısmını karşılayıp daha basit detaylandırma ve daha ekonomik yapım prosedürleri sağlamıştır. Şekil 5.20’de Gabriel Tower’a ait temel planı ve geometrisi verilmiştir [17].



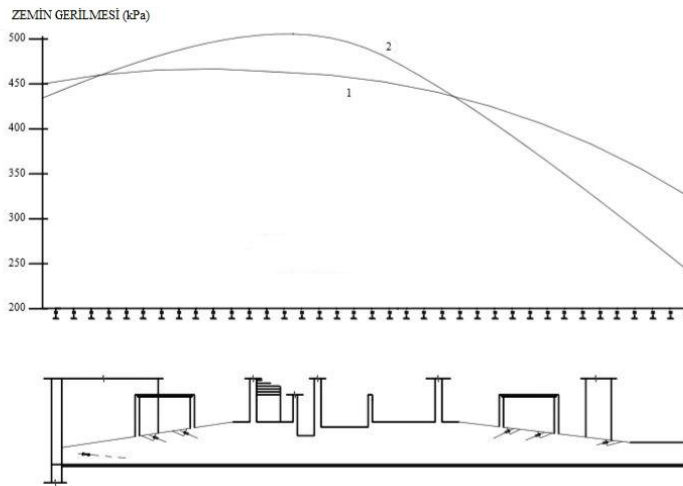
Şekil 5.20 : Temel planı [17].

Yapıda ekstra gerilmelerin ortaya çıkmaması için, öngerilme 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Ankraj bölgelerinin inşaat sırasında germe ve enjeksiyon işleri için erişilebilirliğin sağlanması özel olarak sağlanmıştır. Şekil 5.21’de kabloları yerleşimi gösterilmiştir [17].



Şekil 5.21 : Öngerilme kablolarının yerleşimi [17].

Son olarak ise ard çekme uygulandıktan sonra zemin gerilmesi şekil 5.22’de grafiksel olarak gösterilmiştir. 1 numaralı eğri öngerilme etkisi altındaki zemin gerilmesi dağılımını göstermektedir. Maksimum zemin gerilme değeri 2 numaralı eğride 500 Kn/m²’nin üzerindeyken, 1 numaralı eğride 400 Kn/m²’dir.



Şekil 5.22 : Zemin gerilmesi değişimi [17].

5.5 Ard Çekme Kayıpları

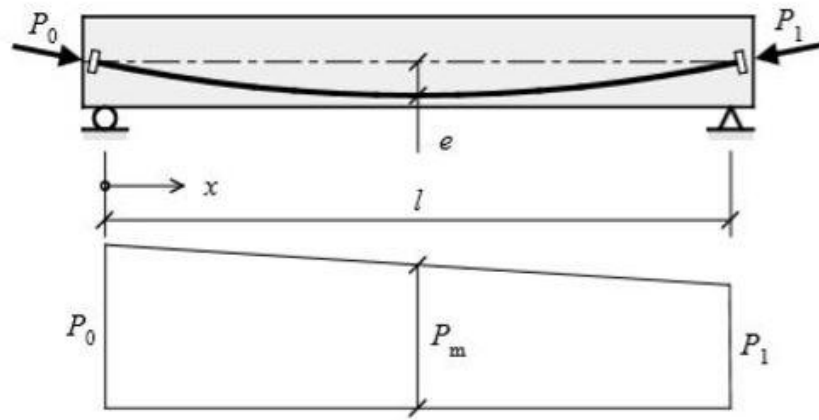
Çeliğin gerilmesinden itibaren öngerilme kuvvetinde azalma meydana gelir. Bu kayıplar uzun ve kısa dönem olmak üzere ikiye ayrılır. Kısa dönem kayıpları aktarma sırasında oluşurken, uzun dönem kayıpları sürekli, kullanım süresince devam eder.

5.5.1 Kısa dönem kayıpları

5.5.1.1 Sürtünme kayıpları

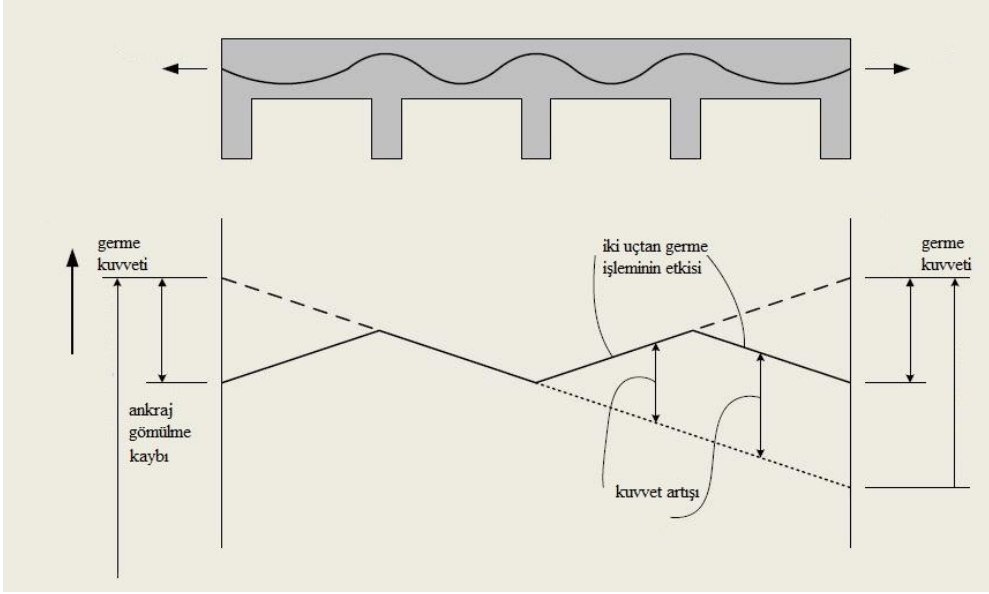
Sürtünmeden kaynaklı kayıplar iki farklı durumdan dolayı meydana gelir.

Aderanslı ard çekmeli elemanlarda, öngerme donatısı ile onu çevreleyen beton arasındaki sürtünmeden dolayı kayıplar oluşur. Sürtünme kayıpları ard çekme kablusunun şekline ve yerel eğriliklerine bağlıdır [11]. Şekil 5.23'te görüldüğü gibi öngerilme kuvveti sürtünme nedeniyle aktif uçtan uzaklaştıkça azalır. Sürekli olarak yerleştirilen kablolarda bu kayıplar doğal olarak daha büyüktür ve normal durumlarda, %5 ila %20 arasındaki değerlere eşittir.



Şekil 5.23 : Sürtünmeden kaynaklı öngerme kuvvetinin değişimi [17].

Kablolarda oluşan sürtünme kayıpların fazla olduğu olduğu durumlarda kablo her iki uçtan da gerilir. Bu durumda sürtünme kaybı bir miktar azaltılmış olur. Şekil 5.24'te iki uçtan gerilen kablolarda öngerilme kuvvetinin sürtünme kaybına bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : İki uçtan gerilen kablodaki sürtünmeden kaynaklı kuvvet değişimi [14].

TS 3233, AASHTO ve CEB-FIB şartnamelerine göre sürtünme kaybının nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. İlk olarak denklem 5.1’de CEB-FIB şartnamesine göre;

$$P_x = P_0 \cdot e^{\alpha \sum (\theta + kx)} \quad (5.1)$$

Burada;

P_0 = Aktif uçtaki öngerilme kuvveti

α = Sürtünme katsayısı

$\sum \theta$ = x mesafesine göre açılmalarda toplamı (mutlak değer)

k = birim uzunluktaki istenmeyen sapmalar için sürtünme katsayısı

x = aktif uca göre dikkate alınan mesafe

X mesafesi, prensip olarak tendon boyunca ölçülmelidir, ancak normal olarak bir düz uzunluk koordinatı kullanılabilir. Öngerilme kuvvetinin x mesafesine bağlı olarak azalması CEB-FIB şartnamesine göre denklem 5.2’ye göre hesaplanır.

$$\Delta P = P_0 * [1 - e^{-\alpha(\sum \theta + kx)}] \approx P_0 \cdot \alpha \cdot (\sum \theta + k \cdot x) \quad (5.2)$$

TS 3233 ve AASHTO’ya göre sürtünme kaybının hesabı sırasıyla denklem 5.3 ve denklem 5.4’e göre hesaplanır.

$$P_0 = P_x e^{kl + \mu \alpha} \quad (5.3)$$

$$T_0 = T_x e^{kl+\mu\alpha} \quad (5.4)$$

Burada;

P_0 : Öngerme kuvveti

P_x : l mesafesinde kayıplardan sonraki öngerme kuvveti

e : tabii logaritma bazı

μ : sürtünme katsayısı

α : radyan cinsinden açı değişikliği

$Kl + \mu\alpha \leq 0.30$ ise ACI sürtünme kaybını düşük kabul etmektedir ve denklem 5.5'e göre hesaplanır.

$$P = P_x(1 + Kl + \mu\alpha) \quad (5.5)$$

Deneylerle belirlenmiş değerler bulunmadığında tasarımda çizelge 5.4 değerleri kullanılabilir [18].

Çizelge 5.4 : Sürtünme ve Düzensizlik Katsayıları.

Donatı çeliği tipi	Kılıf tipi	k/m	μ
Tel ya da halat	Rijit ve yarı rijit galvanize metal kılıf	0,0002 / 0,3048	0,15 - 0,25 (a)
	Polietilen	0,0002 / 0,3048	0,23
Yüksek mukavemetli çubuklar	Rijit çelik boru	0,0002 / 0,3048	0,25 (b)
	Galvanize metal kılıf	0,0002 / 0,3048	0,15

(a) 12 halatlı kablolar için 0,25 sürtünme katsayısı uygun olur. Daha yüksek halat sayıları ve daha geniş kılıflar için daha düşük sürtünme katsayıları kullanılabilir.
(b) Muhtemelen yağlama gerekebilecektir.

5.5.1.2 Elastik kısılma

Germe sırasında betonun basınca bağlı kısılması nedeniyle oluşan kayıptır.

Tendonlar aynı anda gerilmiyorsa, tendonlar gerildiği zaman gerilmiş tendonlarda da gerilme kayıpları olacaktır. Ortalama kayıp, toplam öngerilme kaybının yarısı olarak kabul edilebilir. TS 3233 'e göre elastik kısılma ilk öngerilme kuvvetinin %1'i kadardır.

AASHTO'ye göre elastik kısalma kaybı denklem 5.6'daki gibidir.

$$ES = \frac{1}{2} * \left(\frac{E_s}{E_{ci}} \right) * f_{cir} \quad (5.6)$$

Burada;

f_{cir} = Aktarma işleminden hemen sonra kesitte öngerilme donatısı ağırlık seviyesinde beton gerilmesi

E_s = Öngerilme çeliğinin elastisite modülü

E_{ci} = Betonun aktarma yaşındaki elastisite modülü

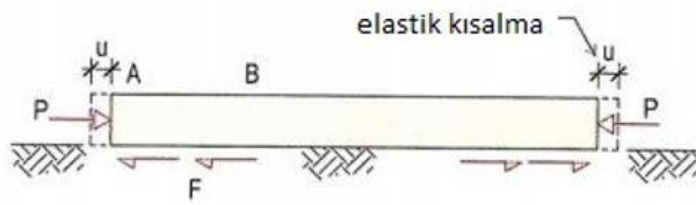
$$E_{ci} = 0,043 w^{1,5} (f'_{ci})^{0,5} \quad (5.7)$$

Burada;

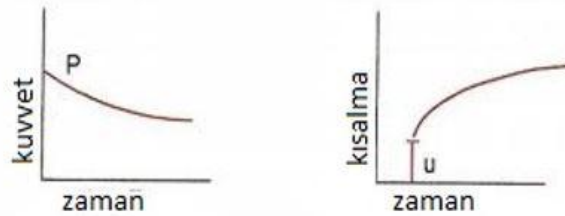
w = Betonun birim hacim ağırlığı (kg/m³)

f'_{ci} = Beton karakteristik basınç dayanımı

Şekil 5.25'te temel betonunda oluşan elastik kısalmanın zamanla ilişkisi gösterilmiştir.



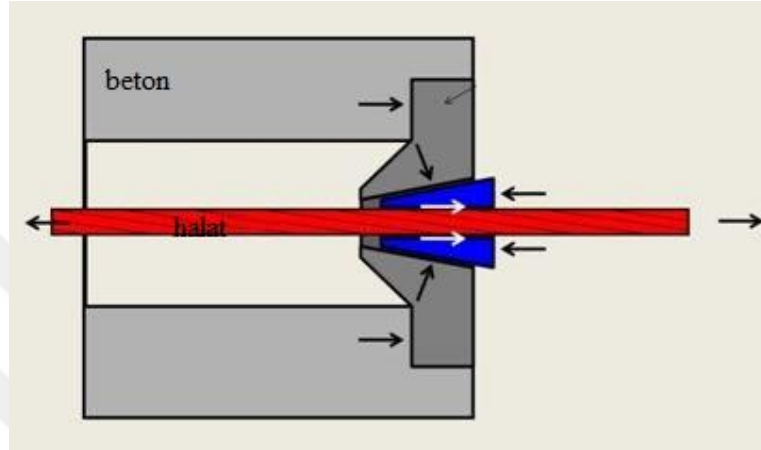
(a) aksenal yük altında temel



Şekil 5.25 : Elastik kısalma etkisi [16].

5.5.1.3 Ankraj oturması

Germe işlemi dahilinde kamaların hidrolik olarak itilmesinin ardından, germe işlemi bittiğinde, demetteki gerilmelerin etkisiyle, kamalarda belli bir miktar oturma olur. Bu oturma seviyesinde kamalar tam olarak yerlerine yerleşirler ancak $\Delta l=6$ mm'lik oturma, demetteki gerilmelerin bir miktar düşmesine neden olur. Şekil 5.26'da ankraj oturması gösterilmiştir.



Şekil 5.26 : Ankraj gömülmesi [14].

Kama otumasından kaynaklanan kuvvet kaybı hesabı şu şekilde yapılır.

$$W = \sqrt{\frac{\Delta I_C * E_s * A_s}{\Delta_p}} \quad (5.8)$$

$$\Delta P = 2 * \Delta_p * w \quad (5.9)$$

$$\Delta_p = (P_o - P_L) / L \quad (5.10)$$

Burada;

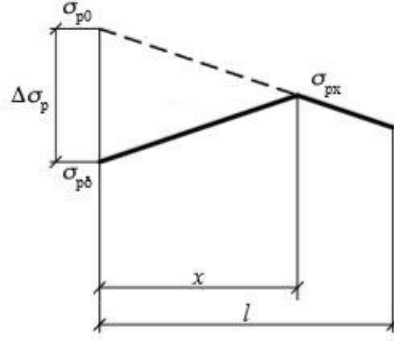
ΔI_C = Kama oturması

E_s = Öngerme çeliğinin elastisite modülü

A_s = Öngerme çeliğinin en kesit alanı

Δ_p = Bir metre için öngerme kuvvet kaybı

Şekil 5.27'de ankraj gömülmesi sonucu oluşan kayıp şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.27 : Ankraj gömülmesi sonucu oluşan kayıp.

5.5.2 Uzun dönem kayıpları

Sünme ve rötreden dolayı oluşan kayıplardır. Sünme kaybı hem betonda hem de donatıda görülen bir kayıptır. Betonda oluşan sünme deformasyonu zamanla azalır ve hatta ters deformasyona dönüşebilir. Betonda oluşan sünme deformasyon değeri TS 3233'te birim gerilme (N/mm²) için, $35,3 \times 10^{-8}$ 'dir

Öngerme donatısı, sabit yük sayılan öngerme kuvveti altında bir miktar sünme ve gevşeme (releksasyon) yapacaktır. Çelikte sünme kaybı için %3 değeri alınabilir.

Betonun rötresi, çimento ve agrega tiplerinden ve kullanılan kütleme yöntemlerinden etkilenir. Bir beton elemanda oluşan rötreye kaybı, diğer faktörlerin yanı sıra, hacim / yüzey oranı ve ortam bağıl neminden etkilenir. Öngerilmeli betonun yükten bağımsız, su kaybıyla oluşan büzülme deformasyonu için daha kesin bir hesaba gerek görülmediği durumlarda TS 3233'te belirlenmiş, kuru ortamda 350×10^{-6} , normal ortamda 200×10^{-6} ve nemli ortamda 70×10^{-6} değerleri kullanılır.

AASHTO'ya göre ise denklem 5.11'deki gibi hesaplanır.

$$CR_C = 12 f_{cir} - f_{cds} \quad (5.11)$$

Burada;

f_{cir} = Aktarma işleminden hemen sonra kesitte öngerilme donatısı ağırlık seviyesinde beton gerilmesi

f_{cds} = Kesitte öngerilme donatısı ağırlık merkezi seviyesinde iken kendi ağırlığı hariç tüm ölü yüklerden dolayı oluşan beton gerilmesi

CEB-FIB şartnamesine sünme ve rötreden kaynaklı kayıpları denklem 5.12’de ifade edilmiştir.

$$\Delta\sigma_{pc} + s = [\varepsilon_{s\infty} * E_s + \alpha * \phi_{\infty} * (\sigma_c, po + g)] / [1 - \alpha \left(\frac{\sigma_{pco}}{\sigma_{po}} \left(1 + \left(\frac{\phi_{\infty}}{2} \right) \right) \right)] \quad (5.12)$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_c} \quad (5.13)$$

$$\Delta P_c + s = 100 \frac{\Delta\sigma_{p, c} + s}{\sigma_{po}} \quad (5.14)$$

Burada;

$\Delta\sigma_p + s$ = Rötme ve sünme sonucu kayıpların yüzde değeri

$\Delta\sigma_{p, c} + s$ = Rötme ve sünme sonucu öngerme çeliğindeki gerilme kaybı

σ_{po} = Öngerme çeliğindeki basınç gerilmesi

σ_c, po = Yalnız öngerme sonucu elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi

$\sigma_c, po + g$ = Öngerme zati ağırlık ve diğer sabit yükler sonucu öngerme elemanı yüksekliğindeki beton gerilmesi

E_s = Öngerme çeliğinin elastisite modülü

E_c = Betonun elastisite modülü

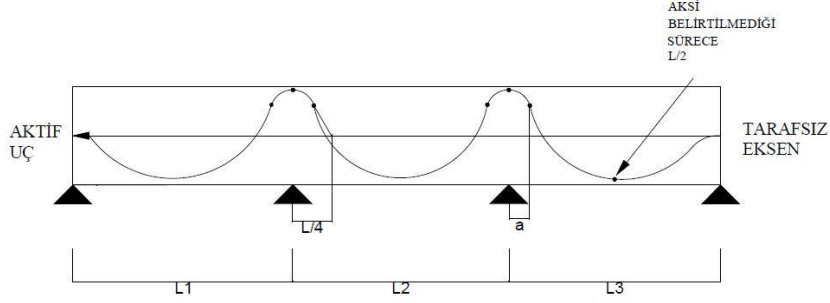
$\varepsilon_{s\infty}$ = Özel son rötme miktarı

ϕ_{∞} = Betonun sonuç sünme sayısı

5.6 Kabloların Yerleşimi

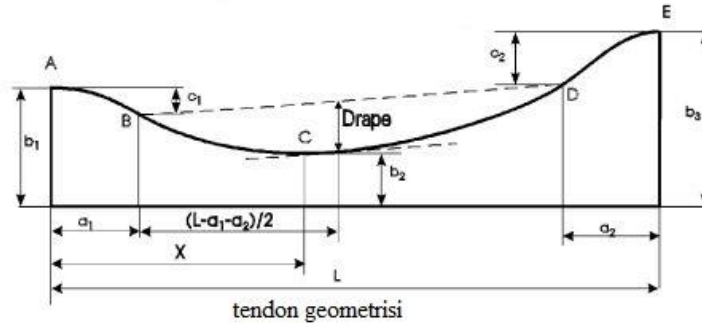
Kablo profilinin belirlenmesi, öngerilmeli beton yapıların tasarımında çok önemli bir adımdır. Diğer tasarım prosedürleri gibi, deneme yanılma süreci olarak algılanmaktadır. Uygun bir kablo düzeni ve öngerilme kuvveti ile dış yüklerin büyük bir kısmı dengelenebilir. En iyi verimlilik için, eğri mümkün olduğunca eğilme momenti diyagramına karşılık gelmelidir.

PTI'ye göre en yaygın kullanılan kablo profili şekil 5.28'de görüldüğü gibi parabol şeklindedir. Bükülme noktası (a) açıklık uzunluğunun 1/10 'u mesafesindedir.



Şekil 5.28 : Kablo profili.

Şekil 5.24'te geometrisi verilen tendonun etkime mesafesinin hesabı yapılmıştır.



Şekil 5.29 : Kablo geometrisi.

Basit parabol denkleminde yola çıkarak h hesaplanır [19].

$$y = kx^2 \quad (5.15)$$

AB, BCD, DE aralıkları için hesaplamalar yapılır.

$$c_1 = k_1 * a_1^2 \quad (5.16)$$

$$c_2 = k_2 * a_2^2 \quad (5.17)$$

$$B_1 = b_1 - b_2 \quad (5.18)$$

$$B_2 = b_3 - b_2 \quad (5.19)$$

$$(B_1 - c_1) = k (X - a_1)^2 \quad (5.20)$$

$$(B_2 - c_2) = k (L - X - a_2)^2 \quad (5.21)$$

B ve D noktalarında eğim;

$$d_y/d_x \quad (5.22)$$

$$\Phi_1 = 2k_1 a_1 \Phi_2 = -2k_2 a_2 \quad (5.23)$$

$$\Phi_1 = -2k (X - a_1) \Phi_2 = 2k (L - X - a_1) \quad (5.24)$$

$$k_1 = -\frac{k (X - a_1)}{a_1} \quad (5.25)$$

$$k_2 = -\frac{k (L - X - a_2)}{a_2} \quad (5.26)$$

$$c_1 = -k(X - a_1)a_1 \quad (5.27)$$

$$c_2 = -k(L - X - a_2)a_2 \quad (5.28)$$

$$B_1 + k(X - a_1)a_1 = k(X - a_1)^2 \quad (5.29)$$

$$B_2 + k(L - X - a_2) = (L - X - a_2)^2 \quad (5.30)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{(K - a_1)^2 - (X - a_1)a_1}{B_1} \quad (5.31)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{(L - X - a_2)^2 - (L_1 - X - a_2)a_2}{B_2} \quad (5.32)$$

Denklemlerin kombinasyonu ile;

$$l x^2 + m X + n = 0 \quad (5.33)$$

Burada;

$$l = b_3 - b_1 \quad (5.34)$$

$$m = (2L - a_2)(b_1 - b_2) - a_1(b_3 - b_2) \quad (5.35)$$

$$n = -(b_1 - b_2)(L - a_2)L \quad (5.36)$$

$$x = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 - 4ln}}{2l} \quad (5.37)$$

$$l = 0 \text{ ise } X = -n/m \quad (5.38)$$

$$c_1 = \frac{(b_1 - b_2)a_1}{X} \quad (5.39)$$

$$c_2 = (b_3 - b_2)a_2 / (L - X) \quad (5.40)$$

$$h = \frac{(b_1 - b_2)(L - a_1 - a_2)^2}{4X(X - a_1)} \quad (5.41)$$

Yerleştirilen kabloların oluşturduğu momentler ise; plaklarda öngerilme kablolarının parabolik koyulacağından yola çıkılarak hesaplanır [20].

$$y'' = -\frac{8f}{l^2} = \text{sabit} \quad (5.42)$$

Burada;

$$f = (e_0 + e_a) \quad (5.43)$$

Çizgisel yayılı yük;

$$w = \frac{8f}{l^2} * P \quad (5.44)$$

Burada;

$P =$ Öngerilme kuvveti

$l =$ Uzunluk

$f =$ Kuvvet kolu

Kablonun kenarda oluşturduğu moment;

$$M_S = e_a \cdot P \quad (5.45)$$

Normal kuvvetler başlangıç eğimi ile;

$$tg\alpha = y' = \frac{4f}{l} \quad (5.46)$$

$$N = P_a \cdot \cos\alpha \cong P_a \quad (5.47)$$

Burada;

$P_a = P$ 'nin ankraj yerindeki değeri

Kablolar tarafından oluşan kuvvetler, 1 m genişlikteki kablo adedi n ve w_2 ile çarpılarak 1 m² için, öngermenin verdiği yayılı yük bulunur.

$$W(s) = n \cdot W_r(s) \quad (5.48)$$

Burada;

$W(s) = r$ doğrultusuna paralel bir kablonun başnağıçtan s mesafede bir noktada düşey doğrultuda etkittiği çizgisel kuvveti

$n =$ söz konusu doğrultuya paralel kabloların istenilen plak noktasında, doğrultuya dik 1 m genişlikteki adedi

$W_r(s) =$ söz konusu noktada, 1m² lik plak orta düzlemine dik öngerme alan kuvveti
Ard çekme işlemi sırasında kesitte çekme olmayacağı varsayımı yapılarak hesaplanan moment değerlerine göre öngerilmeli donatı tarafından karşılanması gereken kuvvet denklem 5.49 ile hesaplanır.

$$0 = \frac{F_0}{A_c} + \frac{[F_0 \cdot e \cdot (h/2)]}{I_e} - \frac{[M(h/2)]}{I_e} \quad (5.49)$$

Hesaplanan F_0 kuvvetinin seçilen öngerilme çeliğinin tek demetindeki kuvvete bölünmesi ile öngerilme çeliklerinin yerleştirilmesi gereken maksimum aralık bulunur.

PTI ise denklem 5.50 ile zemine oturan döşemeler için öngerilme donatı aralıklarının hesabını yapmaktadır [6].

$$\frac{F_e}{(f_p * 12H) + (W_{temel} * \frac{L_s}{2} * \mu)} \quad (5.50)$$

Burada;

$F_e =$ Öngerilme kuvveti

$f_p =$ Tasarlanan basınç kuvveti

$H =$ Temel kalınlığı

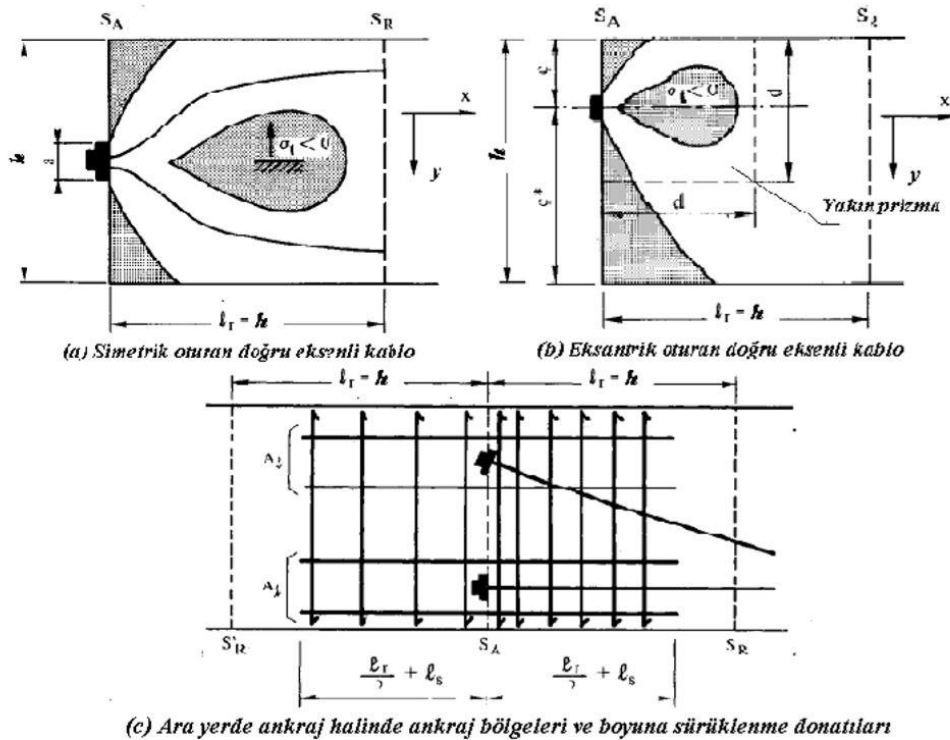
W = Temelin ağırlığı

L = Temelin toplam uzunluğu

μ = Sürtünme katsayısı

5.7 Ankraj Bölgesi Tasarımı

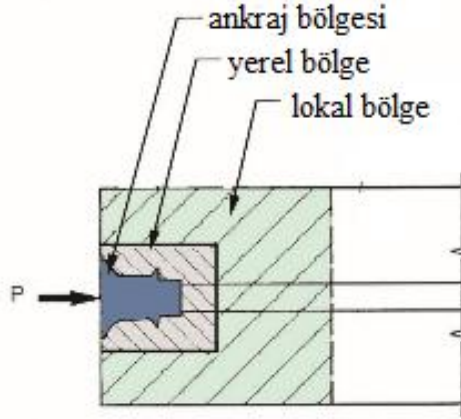
Ard çekmeli sistemlerde, öngerme kuvveti mekanik ankraj elemanları ile kesitin oldukça küçük bir kesmine aktarılır. Bu sebeple mekanik ankraj elemanlarının hemen altında betonda büyük basınç gerilmeleri meydana gelir. Ankraj yerinden uzaklaştıkça bu gerilmeler kesit yüksekliğine dağılmaya başlar ve belirli bir mesafede, ankraj elemanın kesit ağırlık merkezine göre durumuna bağlı olarak uniform, yamuk veya farklı işaretli iki üçgen şeklinde bir yayılım gösterir. Bu kesitle ankraj elemanının bulunduğu kesit arasındaki mesafeye 'aktarma mesafesi' denir. [20]. Şekil 5.25'te aksenal ve eksantrik oturan kabloların beton elemanda oluşturduğu gerilme yayılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.30 : Ankraj bölgesi gerilme yayılımı [21].

Ankraj bölgeleri geometrik açıdan incelendiğinde yerel ve genel bölge olmak üzere ikiye ayrılır. Genel bölge gerilmelerin yapısal elemanın kesitinde daha doğrusal bir gerilme ile dağılmasını sağlayan bölgedir. Şekil 5.26'da görüldüğü gibi genel

bölgenin yüksekliği yapı elemanının derinliğine eşittir. Ayrıca genel bölge, yerel bölgeyi de içermektedir.



Şekil 5.31 : Ankraj bölgesi [6].

Yerel bölge ve genel bölgede 'Bernoulli- Navier' hipotezinin, yani şekil değiştirmeden sonra düzlem kesitlerin düzlem kalması varsayımı geçerli değildir, bu bölgede üç boyutlu gerilme yayılışları meydana gelir ve yine üç boyutlu olarak, enine ve boyuna yerleştirilecek donatılarla dengelenir [18].

5.8 AASHTO, TS, ACI Standartları ve Ard Çekme

Ard çekmeli beton elemanlar için aktarma aşaması, servis yükleri ve nominal dayanım olmak üzere 3 farklı hesap aşaması vardır. Öngerme kuvvetinin aktarımı sırasında, davranış elastiktir, düzlem kesit düzlem kalır, gerilmeler şekil değiştirme ile orantılıdır. Öngerilme kuvveti kısa veya uzun vadeli kayıplardan önce maksimumdur. Uygulanan yükler minimumdur. Eğilme momenti yönetmelikte belirtilen izin verilen değerlerle sınırlıdır. Servis yükleri altında, davranış elastiktir, düzlem kesit düzlem kalır, gerilmeler şekil değiştirme ile orantılıdır. Uygulanan yükler tamamen ölü ya da hareketli yüklerdir. Öngerilme kuvveti kısa veya uzun vadeli tüm kayıplardan sonra etkili seviyededir. Öngerilme kuvveti, eğilme gerilmelerinin ve çatlama momentlerinin her birinin izin verilebilir limit durumlarına bağlı olarak seçilir. Nominal dayanımda ise davranış inelastiktir, düzlem kesit düzlem kalmadığı varsayılır fakat gerilmeler şekil değiştirmelerle orantılı değildir. Uygulanan yüklerin tamamı sabit ve hareketli yüklerden oluşur. Öngerilme kuvveti, yönetmelikte belirtilen nominal dayanım seviyesindedir. Momentler en düşük maliyetli modeli üretmek için yönetmelikte belirtilen limitlere göre yeniden

dağıtılır. Mukavemet gereksinimlerini ve yönetmelikte belirtilen minimum takviye gereksinimlerini karşılamak için gerekirse pasif donatı eklenir [6].

Aktarma öngerilmeli beton tekniğinde, öngerme elemanlarıyla (çubuk, tel, halat, kablo) sağlanan öngerme kuvvetinin beton elemana yüklenmesi işlemidir [18].

Aktarma sırasında beton basınç ve çekme gerilmelerine ait eşitlikler verilmiştir.

TS 3233'e göre, beton basınç güvenlik gerilmesi

$$0.55 f_{cjk} \quad (5.51)$$

TS 3233'e göre beton çekme güvenlik gerilmesi;

$$0.25\sqrt{f_{cjk}} \quad (5.52)$$

Burada;

f_{cjk} = Betonun j-gün yaşta (j: aktarma esnasında betonun karakteristik basın. mukavemeti

AASHTO'ya göre aktarım esnasında beton çekme gerilmeleri aderanslı öngerme donatısı kullanılmayan öngerilmeli elemanların çekme bölgelerinde;

$$1.379 \text{ veya } 0.25\sqrt{f_{cjk}} \quad (5.53)$$

Hesaplanan beton çekme gerilmelerinin bu değeri aştığı yerlerde, betonun çatlamayacağı varsayımı altında hesaplanan beton çekme kuvvetinin tamamını karşılayacak miktarda aderanslı donatı eklenir [18]. Böylece izin verilen çekme gerilmeleri;

$$0.6225\sqrt{f_{cjk}} \quad (5.54)$$

Servis yükleri altında basınç ve çekme gerilmeleri aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

TS 3233'e göre beton basınç güvenlik gerilmesi;

$$0.45 f_{ck} \quad (5.55)$$

TS 3233'e göre çekme bölgesinde ek betonarme donatısı kullanılmadığında izin verilen çekme gerilmesi;

$$0.50 f_{ck} \quad (5.56)$$

Burada;

f_{ck} = Beton karakteristik basınç dayanımı

AASHTO'ya göre yük birleşimleri altında izin verilen basınç güvenlik gerilmesi,

$$0.60 f_{ck} \quad (5.57)$$

AASHTO'ya göre öngerilme etkisinin etkin değeri ve daimi yükler altında izin verilen basınç gerilmesi;

$$0.40 f_{ck} \quad (5.58)$$

AASHTO'ya göre öngerilmenin etkin değeri ve daimi yüklerden dolayı oluşan basınç gerilmeleri ve hareketli yüklerden dolayı oluşan gerilmelerin yarısının toplamının aşmasına izin verilmeyen basınç gerilmesi gerilme;

$$0.40 f_{ck} \quad (5.59)$$

ACI 318 şartnamesinde yer alan çekme emniyet gerilmeleri aşağıda verilmiştir. Negatif moment bölgesinde öngerilmeli donatıya ek olarak öngerilmemiş donatı kullanılması halinde;

$$0.8 \sqrt{f_{ck}} \quad (5.60)$$

Pozitif moment bölgesinde öngerilmeli donatıya ek olarak öngerilmemiş donatı kullanılması halinde;

$$0.27 \sqrt{f_{ck}} \quad (5.61)$$

Pozitif ve negatif moment bölgesinde yalnız öngerilmeli donatı kullanılması halinde çekme emniyet gerilmesi sıfır olmalıdır.

Öngerme çeliğinde germe esnasında oluşan gerilmeler TS 3233'e göre;

$$0.80 f_{pk} \quad (5.62)$$

Aktarmadan hemen sonra meydana gelecek çekme gerilmeleri;

$$0.70 f_{pk} \quad (5.63)$$

Burada;

f_{pk} = Öngerilme donatısının karakteristik kopma mukavemeti

AASHTO'ya göre ankrajda tespitten hemen sonra, ankrajda çekme gerilmesi;

$$0.70 f_s' \quad (5.64)$$

Burada;

f'_s :öngerilme çeliğinin nihai mukavemeti

Ankraj oturması kaybı bölgesi sonunda;

$$0,83 f_y^* \quad (5.65)$$

Kayıplardan sonra hizmet safhasında çekme gerilmesi;

$$0,80 f_y^* \quad (5.66)$$

Burada;

$f_y^* (= f_{yd})$ =Öngerme donatılarında itibari akma gerilmeleri

İtibari akma gerilmeleri üretici tarafından verilmezse aşağıdaki tablo yardımıyla belirlenir.



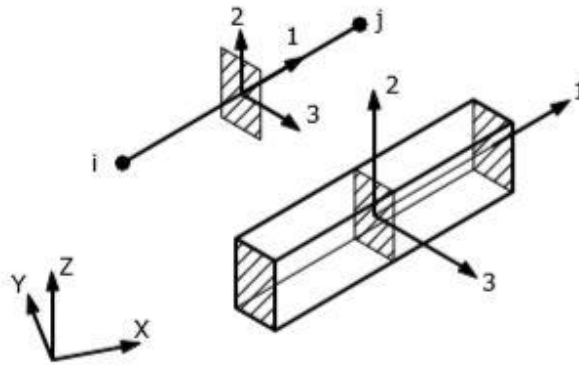
6. SAYISAL ÇÖZÜMLER

Sayısal uygulamalar hem rijit yöntem hem de sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmüştür. Sonlu elemanlar ile çözüm için SAFE yazılımından yararlanılmıştır.

SAFE yazılımı; Computers and Structures, Inc firması tarafından geliştirilen betonarme döşeme/temel sistemlerinin çözümü ve boyutlandırılması amacıyla kullanılan bir programdır. Temel ve döşeme sistemlerinde oluşan gerilme, moment değerleri ve gerekli donatı alanları bu program ile istenilen yönetmelikler (ACI, AS, BS, CSA, Eurocode, Hong Kong, IS, Italian NTC, NZS, SG, TS) doğrultusunda hesaplanabilmektedir.

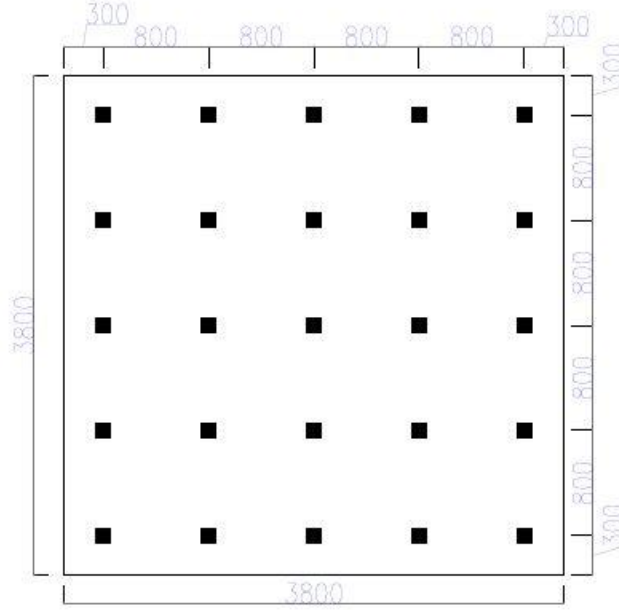
Herhangi bir döşeme veya temel sisteminin SAFE ile analiz ve boyutlandırılmasında; sistem modelinin oluşturulması, malzeme özelliklerinin tanımlanması, kesit özelliklerinin tanımlanması, yüklerin tanımlanması, çözüm(analiz), boyutlandırma, detaylandırma adımları izlenmektedir

Sistem modelleri, genel (global) bir koordinat sistemine göre oluşturulmaktadır. Koordinat sistemi X, Y, Z eksenlerinden oluşan, sağ el kuralına uygun olarak düzenlenmiştir. Sistem modelini oluşturan her nesne kendi yerel (local) eksenine sahiptir. Her nesne için farklı olmak üzere 1, 2, 3 olarak tanımlanan bu eksenler kesit özelliklerinin, yüklerin ve iç kuvvetlerin tanımlanmasında kullanılır. Şekil, 6.1'de genel ve yerel eksen takımları gösterilmiştir [22].



Şekil 6.1 : Genel ve yerel eksen takımı.

Çözüm için 20 katlı bir binanın temeli seçilmiştir. Seçilen temel 3800 x 3800 cm oturum alanına sahip kirişsiz radye temeldir. Kolon boyutu 100x100cm 'dir. Açıklıklar 800cm'dir. x ve y doğrultusunda 300'er cm konsol çıkılmıştır. Şekil 6.2 de temel planı gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : Temel planı.

Beton Sınıfı:	C45
Kolon Boyutları:	100x100 cm
Temel Kalınlığı:	160 cm
Temel Alanı:	1444 m ²
Toplam Noktasal Yük:	$(680+1020)*9 + (600+900)*12 + (560+840)*4 = 38900$ kN
Temel Ağırlığı:	$1,60*2,4*1444=55449,6$ kN
Toplam Yük:	$38900+5544,96=44444,96$ kN
Zemin Gerilmesi:	$44271,68/1444=307,7$ kN/m ²
σ_{zem} :	300 kN/m ²

6.1 Rijit Hesap Yöntemi

6.1.1 Betonarme radye temel çözümü

İlk olarak kolonların maksimum taşıyabileceği yük kapasitesi hesaplanmıştır.

TS 500:2000, Madde 7.4.1' göre kolonların taşıyabileceği maksimum yük kapasitesi;

$$N_d \leq 0,9 * f_{cd} * A_c \quad (6.1)$$

$$N_d \leq 0,9 * 30 * 1000 * 1000$$

$$N_d \leq 27.000.000 \text{ N}$$

TBDY- 2018'e göre ise;

$$N_d \leq 0,4 * f_{ck} * A_c \quad (6.2)$$

$$N_d \leq 0,4 * 45 * 1000 * 1000$$

$$N_d \leq 18.000.000 \text{ N}$$

İç kolonlara, orta kolonlara ve köşe kolonlara gelen yükler ile karşılaştırıldığında kolonların taşıma kapasitesi yeterlidir.

Radye temel kalınlığını belirlemek için zımbalama tahkiki yapılmıştır.

$$b_x = b_y = 1000 + d_{ort} = 2520 \text{ mm}$$

$$V_{pr} = 1 * 1570 * 4 * 2,52 * 1 = 15825,6 \text{ kN}$$

$$F_a = 307,7 * (2,52) * (2,52) = 1954 \text{ kN}$$

$$V_{pd} = 17000 - 1954 = 15045,98 \text{ KN}$$

$$V_{pr} \geq V_{pd}$$

$$\frac{V_{pr}}{V_{pd}} = \frac{15825,6}{15045,98} = 1,05$$

TS 500'e göre bu oranın 1'den büyük olması zımbalama açısından uygun olduğunu göstermektedir.

Moment hesabı (kirişsiz plak formülü ile)

$$M_0 = \frac{P_d l_2 l_n^2}{8} \quad (6.3)$$

$$M_0 = \frac{(307,7 \times 8 \times 8^2)}{8} = 19692,8 \text{ kN.m}$$

Momentin açıklık ve mesnetlere dağıtılması kirişsiz plak moment katsayıları yöntemindeki katsayılar kullanılarak yapılmıştır. Sistem simetrik olduğu için her iki doğrultu için değerler aynıdır.

İç Açıklık:

Açıklık Momenti: $0,35M_0 = -0,35 \times 19692,8 = -6892,48 \text{ kN.m}$

Kolon Şeridine: $M_a^k = 0,60 \times (-6892,48) = -4135,48 \text{ kN.m}$

Orta Şeride: $M_a^o = 0,40 \times (-6892,48) = -2756,99 \text{ kN.m}$

Mesnet Momenti: $0,65M_0 = 0,65 \times 19692,8 = 12800,32 \text{ kN.m}$

Kolon şeridine: $M_m^k = 0,75 \times (12800,32) = 9600,24 \text{ kN.m}$

Orta şeride: $M_m^o = 0,25 \times (12800,32) = 3200,08 \text{ kN.m}$

Kenar Açıklık:

Açıklık Momenti: $0,50M_0 = 0,50 \times 19692,8 = -9846,4 \text{ kN.m}$

Kolon Şeridine: $M_a^k = 0,60 \times (9846,4) = -5907,85 \text{ kN.m}$

Orta Şeride: $M_a^o = 0,40 \times (9846,4) = -3938,56 \text{ kN.m}$

Mesnet Momenti: $0,70M_0 = 0,70 \times 19692,8 = 13784,96 \text{ kN.m}$

Kolon Şeridine: $M_m^k = 0,75 \times (13784,96) = 10338,72 \text{ kN.m}$

Orta Şeride: $M_m^o = 0,25 \times (13784,96) = 3446,24 \text{ kN.m}$

Dış Mesnet Momenti: $0,30M_0 = 0,30 \times 19692,8 = 5907,84 \text{ kN.m}$

Kolon Şeridine: $M_m^k = 1 \times (5907,84) = 5907,84 \text{ kN.m}$

Orta şeride: $M_m^o = 0$

Momentler kirişsiz plak katsayılar yöntemine göre hesaplandığı için şerit genişliğindeki moment değerlerini vermektedir.

Çizelge 6.1 ve 6.2’de açıklık ve mesnet momentleri değerleri ve seçilen donatılar gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Açıklık momenti değerleri ve donatı seçimi

Açıklık .	b (m)	d (m)	G+Q (kN.m)	1,4G+1,6Q (kN.m)	ks	As (mm ² /m)	Asmin (mm ² /m)	Seçilen (mm ² /m)
D1-D5 (kolon şeridi)	4	1,52	1476,9	2156,27	2,84	4028,8	3040,00	Ø24/110 (4113 mm ² /m)
D2-D6 (kolon şeridi)	4	1,52	1033,87	1509,45	2,81	2790,5	3040,00	Ø24/145 (3120 mm ² /m)
D5 (orta şerit)	4	1,52	984,64	1437,57	2,81	2657,6	3040,00	Ø24/145 (3120 mm ² /m)
D6 (orta şerit)	4	1,52	689,24	1006,29	2,80	1853,6	3040,00	Ø24/145 (3120 mm ² /m)

Çizelge 6.2 : Mesnet momenti değerleri ve donatı seçimi

Mesnet .	b (m)	d (m)	G+Q (kN.m)	1,4G+1,6Q (kN.m)	ks	As (mm ² /m)	Asmin (mm ² /m)	Seçilen (mm ² /m)
D1-D5 (kolon şeridi-dış)	4	1,52	1476,9	2156,27	2,83	4000,4	3040,00	Ø24/110 (4113 mm ² /m)
D1-D5 D2-D6 (kolon şeridi-iç)	4	1,52	2584,5	3773,37	2,87	7124,7	3040,00	Ø24/60 (7539 mm ² /m)
D5 -D6 (orta şerit)	4	1,52	800,02	1168,02	2,80	2151,6	3040,00	Ø24/145 (3120 mm ² /m)

Kesme kuvvetinin maksimum değeri 3201 kN’dur.

Kesme kuvveti tahkiki;

$$V_{cr} = 0,65 * f_{ctd} * b * d \quad (6.4)$$

$$V_{cr} = 0,65 * 1570 * 1000 * 1520$$

$$V_{cr} = 1551,16 \text{ kN}$$

Kesme kuvvetinin karşılandığının hesapla gösterilmesi gerekir. Betonun katkısı alındıktan sonra kesme kuvvetinin etriyelere kalan kısmı hesaplanır.

$$V_w = A_{sw} * f_{ywd} * \frac{d}{s} = V_d - 0,80V_{cr} = 3201 - 0,8 * 1551,16 = 1959,7 \text{ kN}$$

φ10 etriye seçilerek aralık hesabı yapılır.

$$2 \times 78,5 \times 365 \times 2520 / s = 1959,7 \quad s = 80 \text{ mm}$$

6.1.2 Ard çekmeli radye temel çözümü

Çözümde ilk olarak ard çekmeli radye temeller için zımbalama tahkiki yapılmıştır. TS 3233'teki zımbalama formülü betonarme plaklar için geçerlidir. Öngerilmeli plaklar için ACI formülü metrik olarak denklem 6.5'te gösterilmiştir [23].

$$V_c = 1,06\sqrt{f_c} * p * d \quad (6.5)$$

Burada;

f_c = Beton basınç dayanımı (kg/cm²)

p = Kritik kesme çevre uzunluğu (cm)

d = Plak kalınlığı (cm)

$$V_c = 1,06\sqrt{f_c} * p * d$$

$$V_c = 20134,9 \text{ kgf} = 2013,5 \text{ ton}$$

Etkiyen en büyük değer 1700 ton olduğu için bu değere göre tahkiki yapılmıştır.

$$V_c = 2013,5 > 1700$$

Zımbalama kritik değildir.

Betonarme temelde, aynı eksenel yükler altında zımbalama tahkikinde minimum kalınlık 1,60 m bulunurken, ard çekmeli temellerde 1,20 m seçilmesi zımbalama tahkikine göre uygundur.

Hesaplanan moment değerlerine bağlı olarak öngerilmeli kablo seçimi yapılacaktır. Döşemelerde ve temellerde 50 cm'den büyük kalınlıklar için minimum 12'li halat seçimi uygundur. Öngerme kablosuna ait özelliklere aşağıdaki gibidir.

Kablo Tipi: 12K15 (12X0,60'')

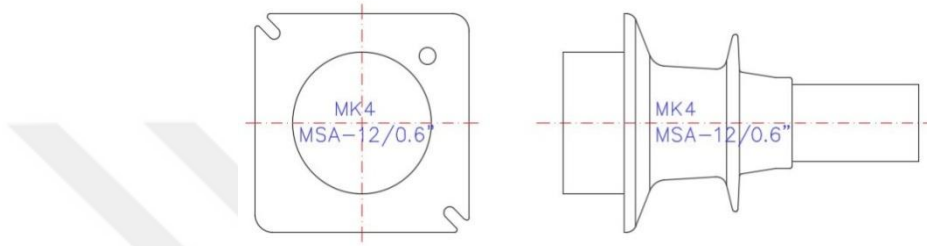
Kopma Sınırı: 186000 tonf/m² (1 kablo için)

Kablo Kesit Alanı: 150x12=1800 mm²

Elastisite Modülü: 1,95x10⁸ MPa

Germe Kuvveti: $P_{pj} = 1860000 * 0,75 * 0.0018 = 2511 \text{ kN}$

Şekil 6.3'te seçilen 12'li 0,60'' öngörme kablosuna ait ankraj plakası detayı verilmiştir.



Şekil 6.3 : 12x0,60'' ankraj plakası detayı

x doğrultusu kablo kayıplarının hesaplanması:

x doğrultusundaki kablunun 3D uzunluğu 38,98 m'dir. Germe işleminin uygulanabilmesi için her iki uçtan 35 cm bırakılmıştır. Y doğrultusunda kablo uzunluğu toplamda 39,68 m'dir. Kablolar temele boydan boya yerleştirildiği için her iki uçtan gerilmesi sürtünme kayıplarının azaltılması açısından daha uygun olacaktır. Eğrilik katsayısı (μ) 0,19, düzensizlik katsayısı (k) 0,003 alınmıştır.

Açı değişimleri y doğrultusundaki kablolar için 1,45 radyandır.

$$P_x = 2511 * e^{-(0.003 * 19,49 + 0,19 * 1,45)}$$

$$= 1798 \text{ kN}$$

Sürtünme kaybından kaynaklanan kayıp y doğrultusundaki kablo için %28'dir.

Ankraj gömülmesi sonucu oluşan kayıplar hesaplanmıştır.

$$\Delta I_c = 0,006$$

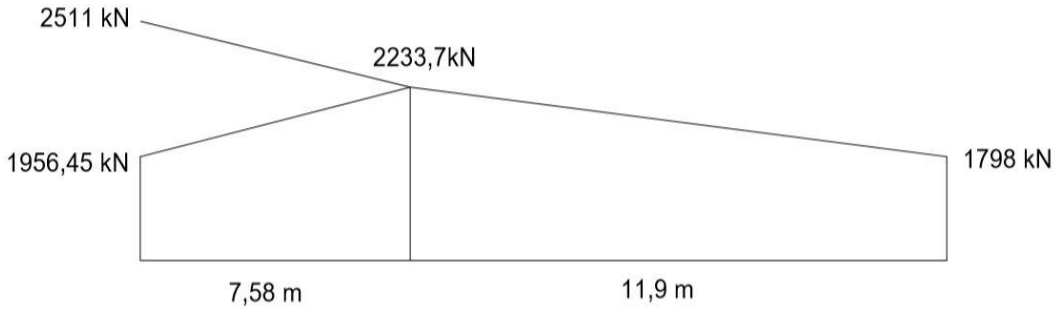
$$\Delta_p = \frac{(2511 - 1798)}{19,49} = 36,58 \text{ Kn/m}$$

$$w = \sqrt{\frac{0,006 * 1,95 * 10^8 * 1800 * 10^{-6}}{36,58}} = 7,58 \text{ m}$$

$$\Delta P = 2 * 36,58 * 7,58 = 554,55 \text{ kN}$$

$$P_{pj} - \Delta P = 2511 - 554,55 = 1956,45 \text{ kN}$$

Şekil 6.4'te ankraj gömülmesi sonucu ve sürtüne kaybı sonucu oluşan kayıplar gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : X doğrultusu ankraj gömülme kaybı

$$P_m = \frac{2511 - 1798}{0,19 * 1,395 + 38,98 * 0,003} = 1866,55$$

$$\Delta L = \frac{1866,55 * 38,98}{1,95 * 10^8 * 1800 * 10^{-6}} = 0,207 \text{ m}$$

Çeliğin uzamasından kaynaklanan kayıplar

Başlangıçta, %75 germe yapılmıştır. Çelikte oluşan uzama kaybı germe kuvvetinin %2,5'i olarak kabul edilir.

$$0,025 * 2511 = 62,775 \text{ kN/m}^2$$

Rötre kayıpları, TS 3233'e göre ard çekmeli elemanlar için kuru ortamdaki birim deformasyon 350×10^{-6} 'dır. 0-1 ay içerisinde yapılacak ard çekme işlemi için zaman katsayısı olarak 0,50 alınabilir.

$$SH = 0,5 * 195000 * 350 * 10^{-6} = 34,16 \text{ MPa}$$

$$\%SH = \frac{34,13}{1395} = \%2,45$$

Sünme kayıpları; TS 3233'e göre ard çekmeli elemanlar için 0.1 Mpa birim gerilme için kuru ortamdaki birim deformasyon $36 \times 10^{-7} (35/f_{ck})$ 'dır. 0-1 ay içerisinde yapılacak ard çekme işlemi için zaman katsayısı olarak 0,50 alınabilir.

$$SH = 0,5 * 195000 * 36 * 10^{-7} * \left(\frac{35}{40}\right) * 10 * 3,38 = 10,3 \text{ MPa}$$

$$\%SH = \frac{10,3}{1395} = \%0,7$$

Toplamda uzun dönem ve kısa dönem kayıpları % 43,65'tir.

y doğrultusundaki kablo kayıplarının hesaplanması:

y doğrultusundaki kablunun 3D uzunluğu 38,98 m'dir. Germe işleminin uygulanabilmesi için her iki uçtan 35 cm bırakılmıştır. Y doğrultusunda kablo uzunluğu toplamda 39,68 m'dir. Kablolar temele boydan boya yerleştirildiği için her iki uçtan gerilmesi sürtünme kayıplarının azaltılması açısından daha uygun olacaktır. Eğrilik katsayısı (μ) 0,19, düzensizlik katsayısı (k) 0,003 alınmıştır. Açı değişimleri y doğrultusundaki kablolar için 1,35 radyandır.

$$P_x = 2511 * e^{-(0,003 * 19,49 + 0,19 * 1,35)}$$

$$= 1832,55 \text{ kN}$$

Sürtünme kaybından kaynaklanan kayıp y doğrultusundaki kablo için % 27'dir.

Ankraj gömülmesi sonucu oluşan kayıplar hesaplanmıştır.

$$\Delta I_c = 0,006$$

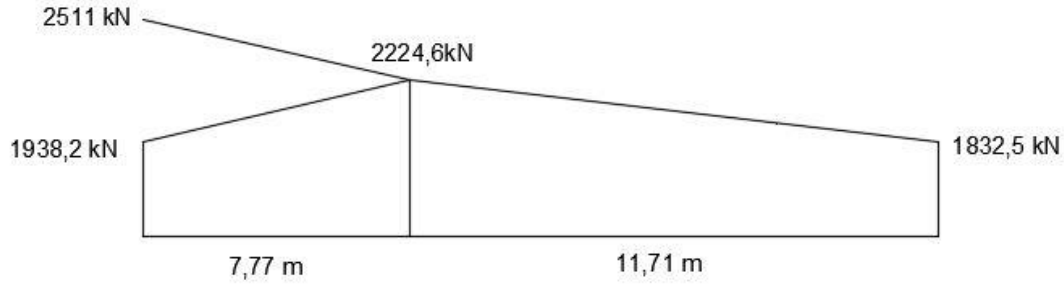
$$\Delta_p = \frac{(2511 - 1832,55)}{19,49} = 34,81 \text{ kN/m}$$

$$w = \sqrt{\frac{0,006 * 1,95 * 10^8 * 1800 * 10^{-6}}{34,81}} = 7,77 \text{ m}$$

$$\Delta P = 2 * 36,58 * 7,77 = 572,80 \text{ kN}$$

$$P_{pj} - \Delta P = 2511 - 572,80 = 1938,2 \text{ kN}$$

Şekil 6.5'te ankraj gömülmesi sonucu ve sürtüne kaybı sonucu oluşan kayıplar gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Y doğrultusu ankraj gömülme kaybı.

Ankraj gömülme kaybı % 11,4'tür.

$$P_m = \frac{2511 - 1832,55}{0,19 * 1,395 + 38,98 * 0,003} = 1776,09$$

$$\Delta L = \frac{1776,09 * 38,98}{1,95 * 10^8 * 1800 * 10^{-6}} = 0,197 \text{ m}$$

Çeliğin uzamasından kaynaklanan kayıplar

Başlangıçta, %75 germe yapılmıştır. Çelikte oluşan uzama kaybı germe kuvvetinin % 2,5'i olarak kabul edilir.

$$0,025 * 2511 = 62,775 \text{ kN/m}^2$$

Rötre kayıpları, TS 3233'e göre ard çekmeli elemanlar için kuru ortamdaki birim deformasyon 350×10^{-6} 'dır. 0-1 ay içerisinde yapılacak ard çekme işlemi için zaman katsayısı olarak 0,50 alınabilir.

$$SH = 0,5 * 195000 * 350 * 10^{-6} = 34,16 \text{ MPa}$$

$$\%SH = \frac{34,13}{1395} = \%2,45$$

Sünme kayıpları; TS 3233'e göre ard çekmeli elemanlar için 0.1 Mpa birim gerilme için kuru ortamdaki birim deformasyon $36 \times 10^{-7} (35/f_{ck})$ 'dır. 0-1 ay içerisinde yapılacak ard çekme işlemi için zaman katsayısı olarak 0,50 alınabilir.

$$SH = 0,5 * 195000 * 36 * 10^{-7} * \left(\frac{35}{40}\right) * 10 * 3,38 = 10,3 \text{ MPa}$$

$$\%SH = \frac{10,3}{1395} = \%0,7$$

Toplamda uzun dönem ve kısa dönem kayıpları % 44,05'tir.

Dengelenmek istenilen moment değeri %50'dir. Bu değere göre tasarım yapıldığında mesnet bölgesine 0,50 m aralık ile 12K0,60'' öngerme donatıları yerleştirilmiştir.

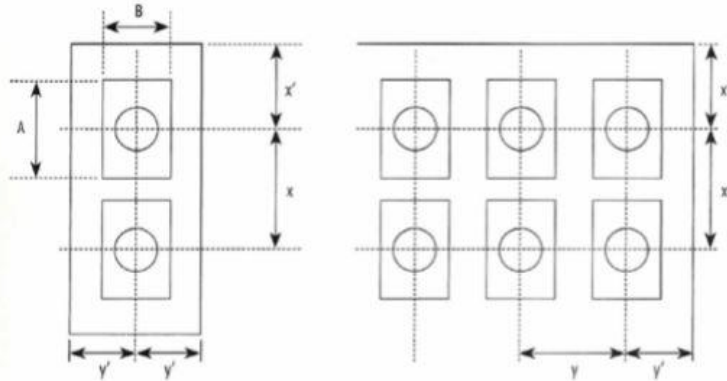
Ard çekme başlıkları arasındaki mesafeler ile ilgili bazı kısıtlamalardan bahsedilmektedir. Bu şekilde A ve B uzunlukları ard çekme kutularının uzunluklarını, x ve y uzunlukları sırasıyla x ve y doğrultularındaki iki ard çekme başlığının arasındaki mesafeyi, x' ve y' değerleri sırasıyla x ve y doğrultusunda ard çekme başlığının köşelere olan uzaklığını temsil etmektedir. Kısıtlamalar ise şöyle belirtilmektedir [24]. Şekil 6.6'da ard çekme kutuları ve yerleşim düzeni gösterilmiştir.

$$x \geq A + 30 \text{ mm}$$

$$x \geq B + 30 \text{ mm}$$

$$x' \geq 0,5x + \text{paspayı}$$

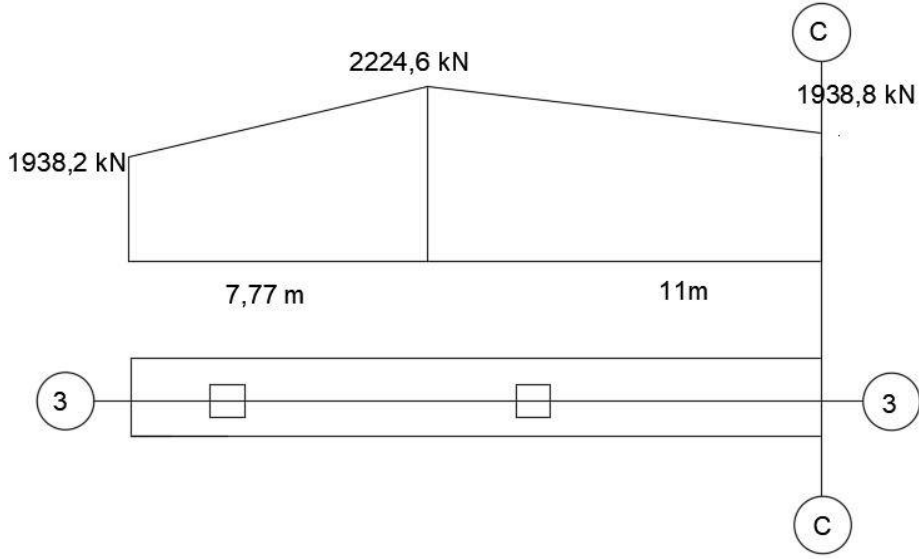
$$y' \geq 0,5y + \text{paspayı}$$



Şekil 6.6 : Ard çekme kutularının yerleşim şartları

Genel olarak 4'lü halatlar için akstan aksa minimum aralık 30 cm, döşeme kenarından minimum uzaklık 15 cm ve paspayı minimum 6 cm olmalıdır. 12'li halatlar için bu değerler sırasıyla 35 cm, 20 cm ve 8 cm iken 19'lu halatlar için bu değerler 40 cm, 25 cm ve 10 cm'dir.

Ard çekme etkisiyle mesnette oluşan moment ve ΔM momenti C ve 3 aksının kesişim bölgesinde transfer ve final durumu için hesaplanmıştır. Oluşan kayıplar ise şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : Ard çekme kayıpları

Transfer durumunda;

$$M_{pr} = 1938,8 * 0,52 = 1008,17 \text{ kN}$$

Final durumunda;

$$M_{pr} = (1938,8 - 155,682) * 0,52 = 927,22 \text{ kN}$$

Transfer durumu ve final durumu için gerilme tahkiki yapılmıştır.

Transfer esnasında sınır gerilme değerleri basınç bölgesinde $0,6 f_{ck}$ iken çekme bölgesinde $1,6 \sqrt{f_{ck}}$ 'dır.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{1938800x\left(\frac{100}{50}\right)}{1000x1200} + \frac{1938800x520 * 600\left(\frac{100}{50}\right)}{\frac{1}{12}x1000x1200^3} - \frac{258x10^7x600}{\frac{1}{12}x1000x1200^3}$$

$$\sigma_{\zeta} = 0,88 \frac{N}{m^2} \leq 10,11 \frac{N}{m^2}$$

Transfer durumu için çekme şartı sağlanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{1938800x\left(\frac{100}{50}\right)}{1000x1200} - \frac{1938800x520 * 600\left(\frac{100}{50}\right)}{\frac{1}{12}x1000x1200^3} + \frac{258x10^7x600}{\frac{1}{12}x1000x1200^3}$$

$$\sigma_b = 5,58 \frac{N}{m^2} \leq 24 \frac{N}{m^2}$$

Transfer durumu için basınç şartı sağlanmıştır.

Final durumunda basınç gerilmesi sınır değeri $0,45 f_{ck}$ iken çekme gerilme sınır değeri $1,6 \sqrt{f_{ck}}$ 'dır.

$$\sigma_c = \frac{1783100x \left(\frac{100}{50}\right)}{1000x1200} + \frac{1783100x520 * 600 \left(\frac{100}{50}\right)}{\frac{1}{12}x1000x1200^3} - \frac{258x10^7x600}{\frac{1}{12}x1000x1200^3}$$

$$\sigma_c = 0,06 \frac{N}{m^2} \leq 10,11 \frac{N}{m^2}$$

Final durumu için çekme şartı sağlanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{1783100x \left(\frac{100}{50}\right)}{1000x1200} - \frac{1783100x520 * 600 \left(\frac{100}{50}\right)}{\frac{1}{12}x1000x1200^3} + \frac{258x10^7x600}{\frac{1}{12}x1000x1200^3}$$

$$\sigma_b = 6 \frac{N}{m^2} \leq 18 \frac{N}{m^2}$$

Final durumu için basınç şartı sağlanmıştır.

6.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

İlk olarak sistem modeli oluşturulmuştur. Model 'Base Mat' olarak tanımlanmıştır. Metrik sistem seçilmiştir. Boyutlandırma için ACI318-08 yönetmeliği seçilmiştir. Beton için C45 ve donatı için S420 tanımlanmıştır. Hesapta sabit ve hareketli yüklerin etkisi dikkate alınmıştır. G ve Q yükleri tanımlanmıştır. G+Q ve 1,4G+1,6Q kombinasyonları oluşturulmuştur. Sabit yükler köşe kolonlara 10000 kN, kenar kolonlara 10700 kN ve iç kolonlara 12150 kN olarak, hareketli yükler ise sırasıyla 4000 kN, 4300 kN, 4850 kN olarak tanımlanmıştır. Çizelge 6.3'te tanımlanan değerler gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Sabit ve hareketli yük değerleri.

	G (kN)	Q(kN)
Köşe Kolon	10000	4000
Kenar Kolon	10700	4300
İç Kolon	12150	4850

6.2.1 Betonarme radye temel çözümü

Yapı, kullanılan beton, halat ve donatıya ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Temel Kalınlığı: 160 cm

Beton Sınıfı: C45

Donatı Sınıfı: S420

Hesaplarda Kullanılan Kombinasyonlar:

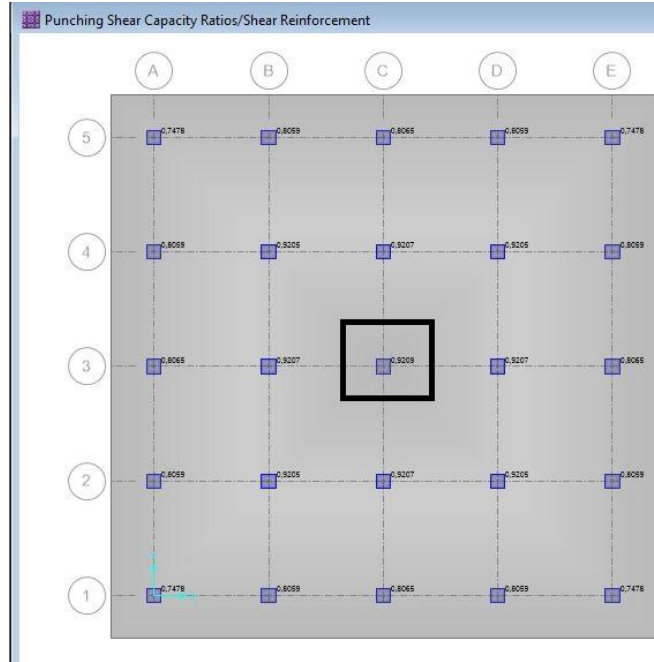
G: Sabit Yük

Q:Hareketli Yük

G+Q

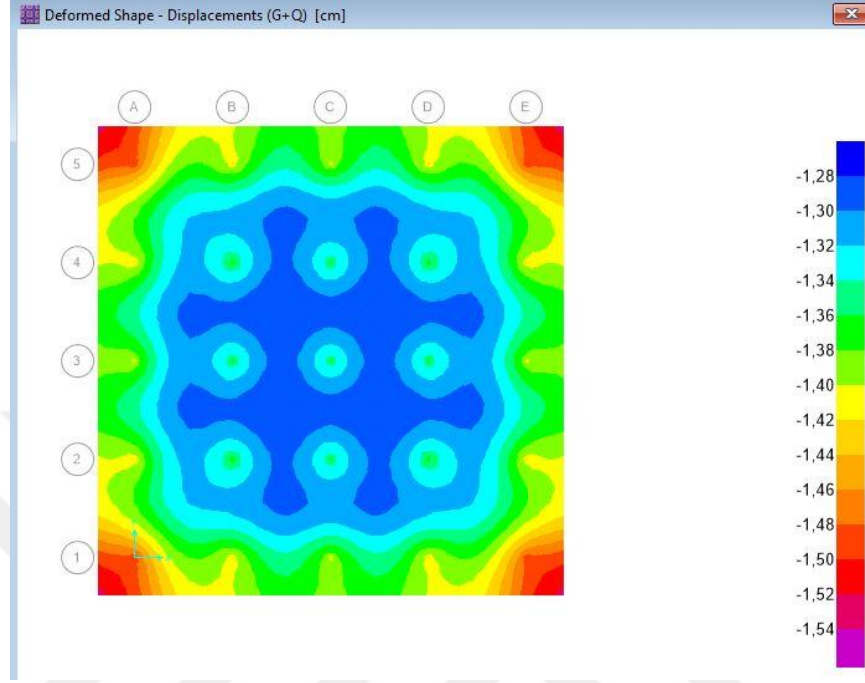
1,4G+1,6Q

Temel boyutlandırılmasında en önemli etkenlerden biri zımbalama etkisi olduğu için ilk olarak zımbalama kontrol edilmiştir.Kolonların olduğu bölgeler zımbalama açısından kritik noktalar. Yapılan analiz sonucunda, Şekil 6.7’de zımbalama kuvvetini değerlerinin 1,0’ın altında çıktığı görülmektedir. Yani; bu bölgelerde kayma gerilmelerinin kapasiteden küçük olduğu ve zımbalama güvenliğinin sağlandığını görülmektedir. Zımbalama kontrolünde en kritik değerler 0,92 değeri ile orta bölgede çıkmıştır. Elle yapılan hesapta ise bu değer 0,95 çıkmıştır.



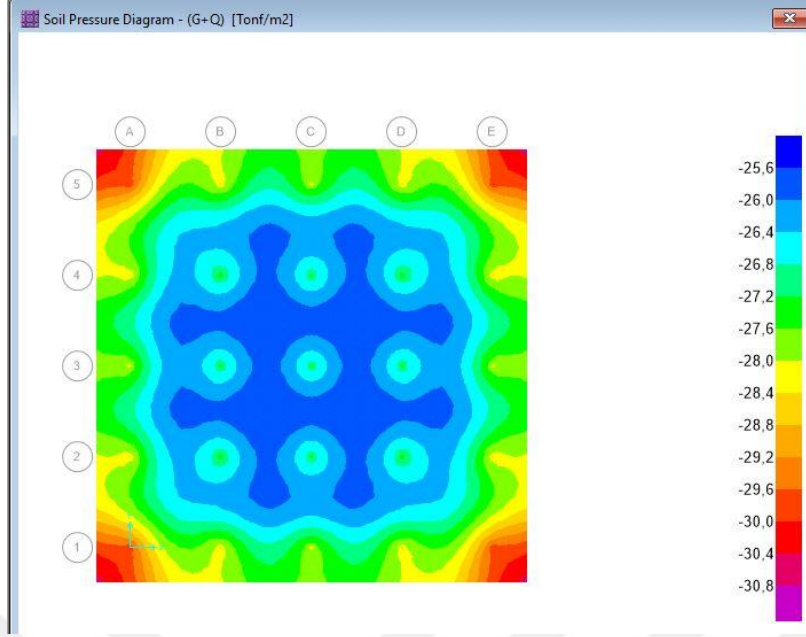
Şekil 6.8 : Zımbalama kontrolü.

Yapılan analiz sonucunda G+Q yüklemesi altında yerdeğişmeler şekil 6.8’de verilmiştir. Şekilde en büyük yerdeğiştirme değerinin köşelerde olduğu ve 1,54 cm olduğu görülmektedir.



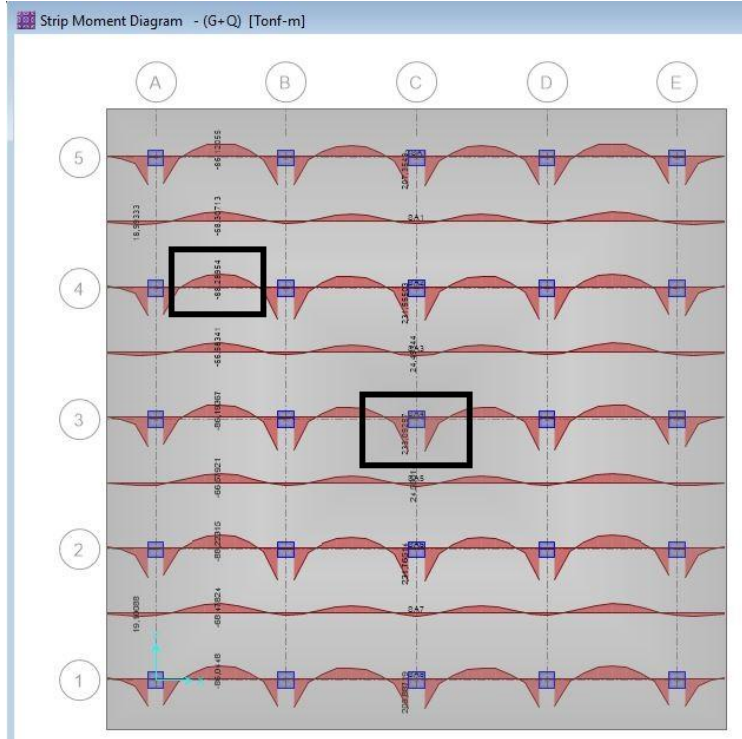
Şekil 6.9 : G+Q kombinasyonu zemin yerdeğiştirme değerleri.

Şekil 6.9’da zemin gerilme değerleri verilmiştir. Zeminde oluşan gerilmeler ile yerdeğiştirme diyagramlarının, Winkler hipotezi uyarınca, benzer olduğu görülmektedir. Zeminde oluşan en büyük gerilme değeri $-30,8t/m^2$ ’dir. En büyük yerdeğiştirme değeri ile yatak katsayısının çarpımı sonucunda zemin gerilmeleri bulunmaktadır. Ayrıca tüm değerlerin negatif olması zeminde ayrılmanın ortaya çıkmadığını göstermektedir.



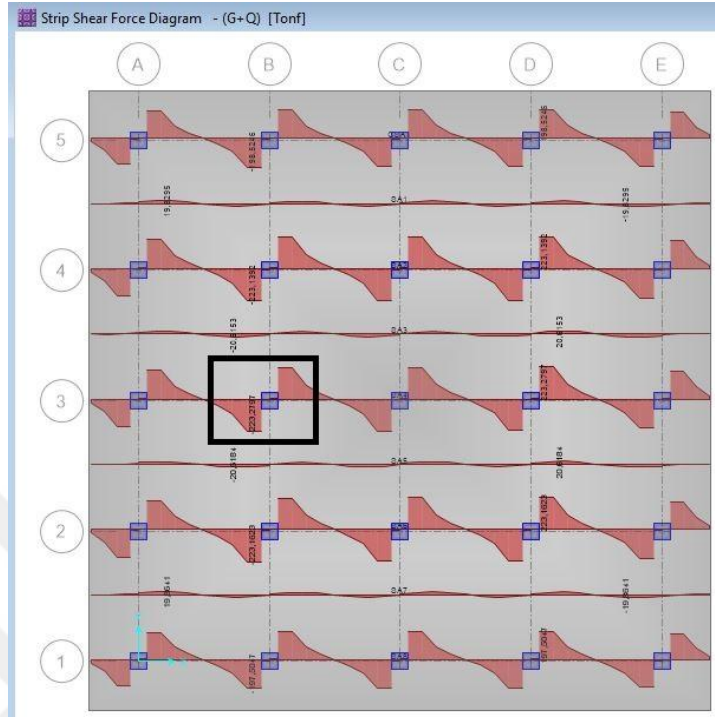
Şekil 6.10 : G+Q kombinasyonu zemin gerilme değerleri.

G+Q kombinasyonu sonucu x yönünde elde edilen moment değerleri şekil 6.11’de gösterilmiştir. Açıklık ortasında ve mesnette oluşan maksimum momentler işaretlenmiştir. Açıklıkta oluşan maksimum moment değeri -88,28 t.m iken mesnette oluşan maksimum moment değeri 233 t.m’dir. Sistem simetrik olduğu için y doğrultusunda oluşan moment değerleri de aynıdır.



Şekil 6.11 : G+Q kombinasyonu x doğrultusu moment değerleri

G+Q kombinasyonu sonucu oluşan kesme kuvveti değerleri Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Maksimum kesme kuvveti değeri 223,27 t'dur.



Şekil 6.12 : G+Q kombinasyonu kesme kuvveti değerleri.

6.2.2 Ard ekmeli radye temel zm

Temel Kalınlığı:	120 cm
Beton Sınıfı:	C45
Donatı Sınıfı:	S420
Kablo Tipi:	12K15 (12X0,60'')

Hesaplarda Kullanılan Kombinasyonlar:

G: Sabit Yük

Q:Hareketli Yük

PT-TRANSFER : Kısa süreli ard çekme yükü

PT- FINAL: Uzun süreli ard çekme yükü

G+Q+PT-TRANSFER

G+Q+PT-FINAL

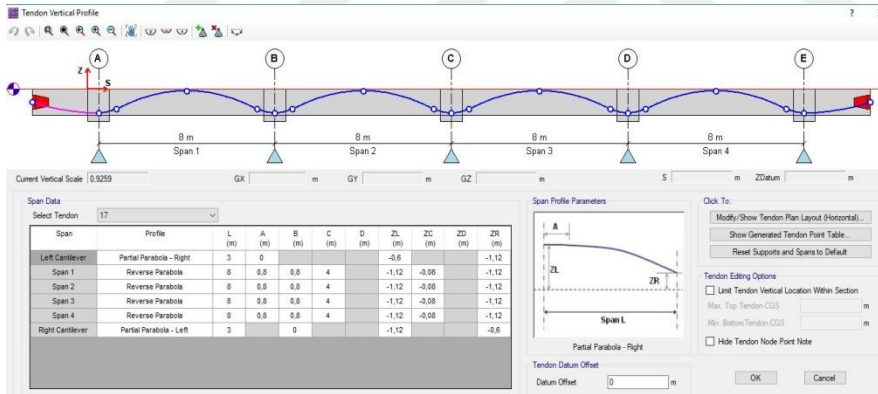
Hesap Gerilme Limitleri

Ard çekme kombinasyonları ile gerilmeler kısa süreli yani transfer esnasında ve uzun süreli, final yükleri altında kontrol edilir.

Transfer esnasında sınır gerilme değerleri basınç bölgesinde $0,6 f_{ck}$ iken çekme bölgesinde $1,6 \sqrt{f_{ck}}$ 'dır.

Final durumunda basınç gerilmesi sınır değeri $0,45 f_{ck}$ iken çekme gerilme sınır değeri $1,6 \sqrt{f_{ck}}$ 'dır.

Doğru bir tasarım yapmak için yerleştirilen kablo profillerinin moment diyagramlarına yakın bir profile yerleştirilmesi gerekir. Kirişsiz radye temelde, mesnet bölgesinde çekme kuvvetleri alt kısımda oluşurken, açıklık kısmında üst kısımda oluşmaktadır. Buna bağlı olarak kablolar mesnet bölgesinde en alt noktadan, açıklık bölgesinde ise üst bölgeden geçirilerek yerleştirilmiştir. x doğrultusunda paspayı 8 cm ve y doğrultusunda paspayı 13 cm'dir. Her iki doğrultu için için kablo profilleri şekil 6.12 ve 6.13'deki gibi tanımlanmıştır.

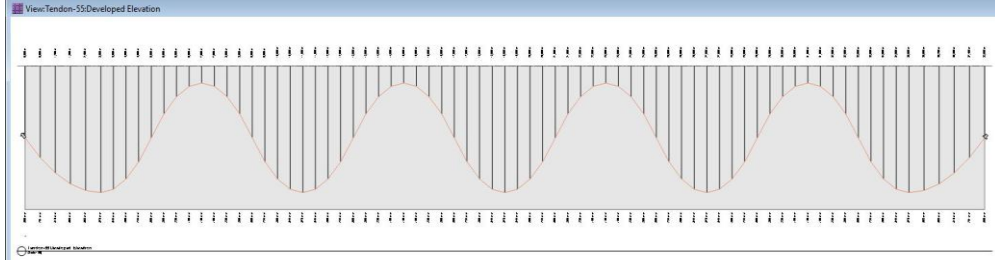


Şekil 6.13 : X doğrultusu kablo profilinin oluşturulması



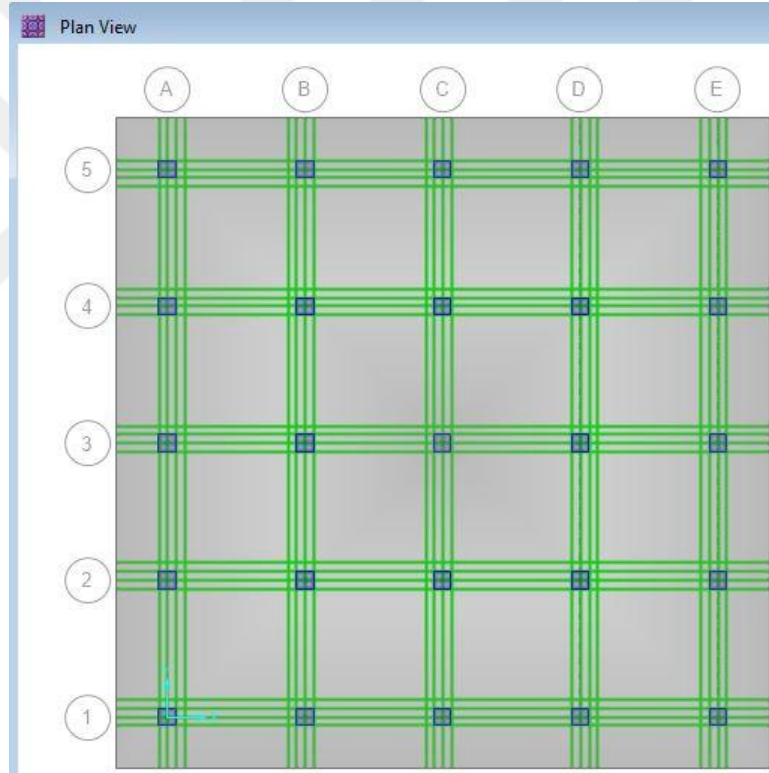
Şekil 6.14 : Y doğrultusu kablo profilinin oluşturulması

Oluşturulan kablo profiline ait kesit görüntüsü şekil 6.15'te görülmektedir.



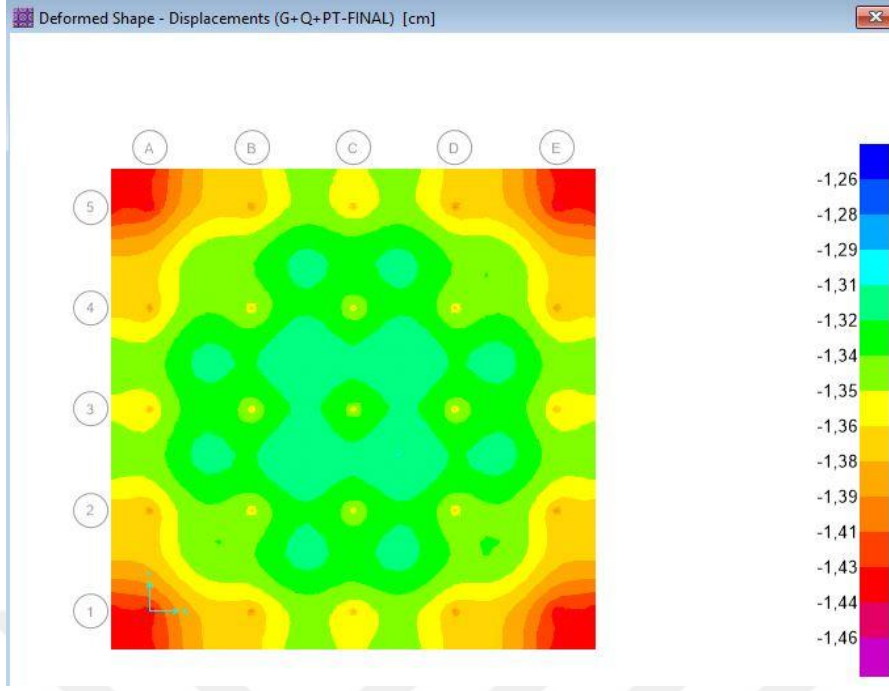
Şekil 6.15 : Kablo yerleşim düzeni

Ard çekme ile sabit ve hareketli yükler altında oluşan mesnet momentlerin %50 oranında azaltılması amaçlanmaktadır. Kalan momentler için ise minimum donatı yerleştirilecektir. Buna bağlı olarak kablo yerleşim planı şekil 6.16'daki gibidir.

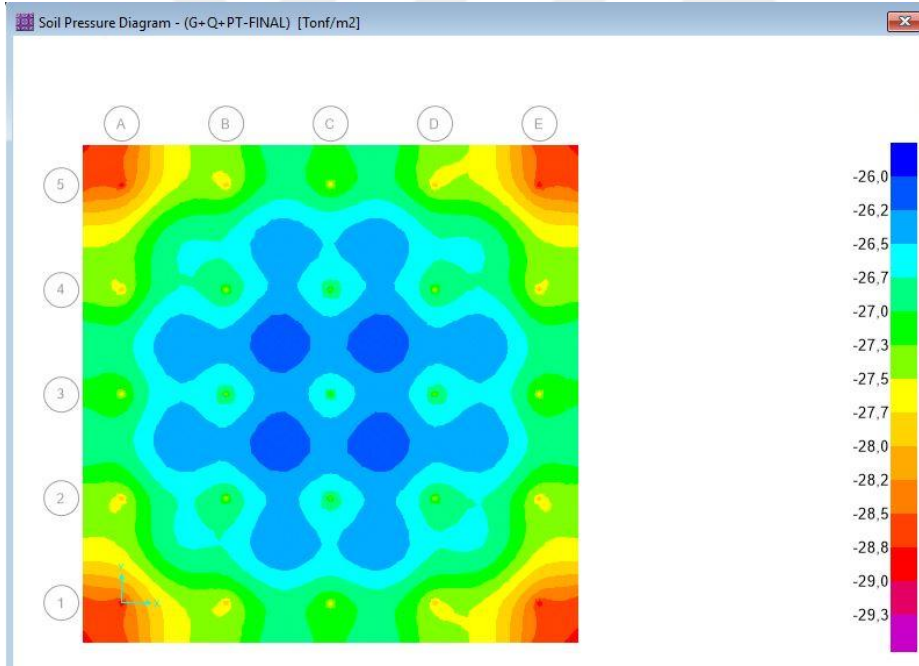


Şekil 6.16 : Kablo yerleşim planı.

G+Q+PT-FINAL kombinasyonu sonucu oluşan yerdeğiştirme değeri şekil 6.17'deki gibidir. Maksimum -1,46 cm'dir. Özellikle orta bölgelerde bu değerlerin -1,30, -1,35 değerinde olduğu görülmektedir ve yerdeğiştirmeler uniform olarak dağılmaktadır. Zemin oturmalarına bağlı olarak oluşan zemin gerilme değerleri ise şekil 6.18'deki gibidir.

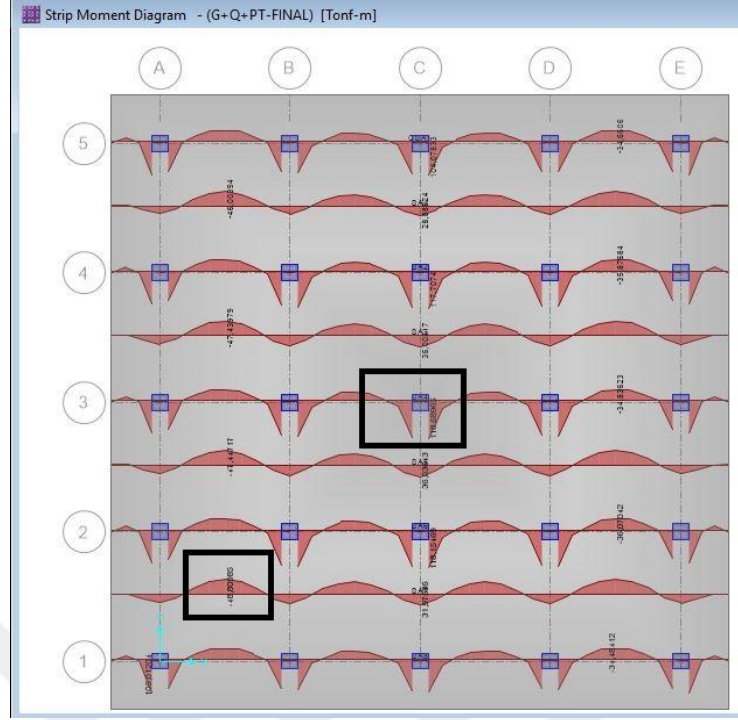


Şekil 6.17 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu zemin yerdeğiştirme değerleri.



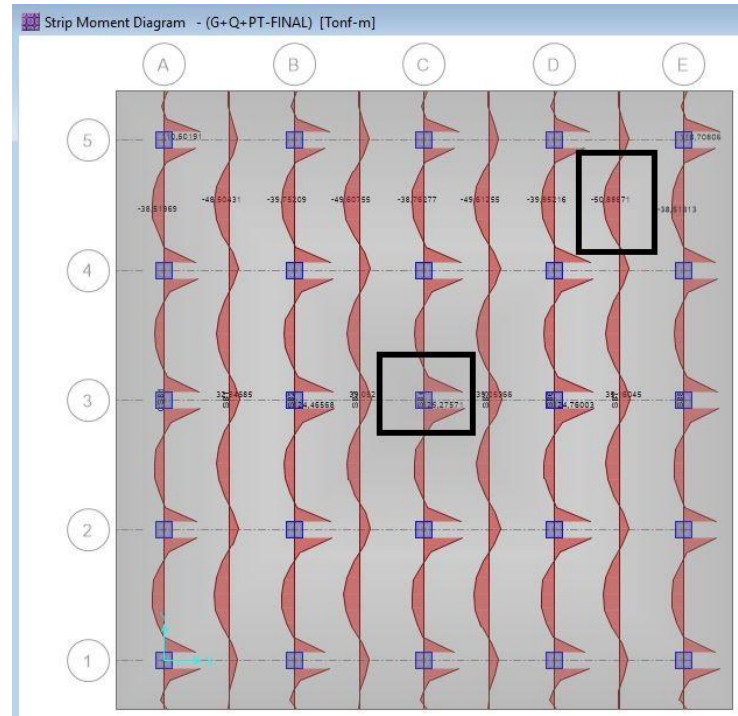
Şekil 6.18 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu zemin gerilme değerleri.

G+Q+PT-FINAL kombinasyonu sonucu oluşan momentler şekil 6.19’da görülmektedir. Maksimum açıklık ve mesnet momentleri işaretlenmiştir. X doğrultusunda oluşan açıklık momentinin maksimum değeri -48,81 t.m, mesnette oluşan maksimum moment değeri 118,39 t.m’dir.



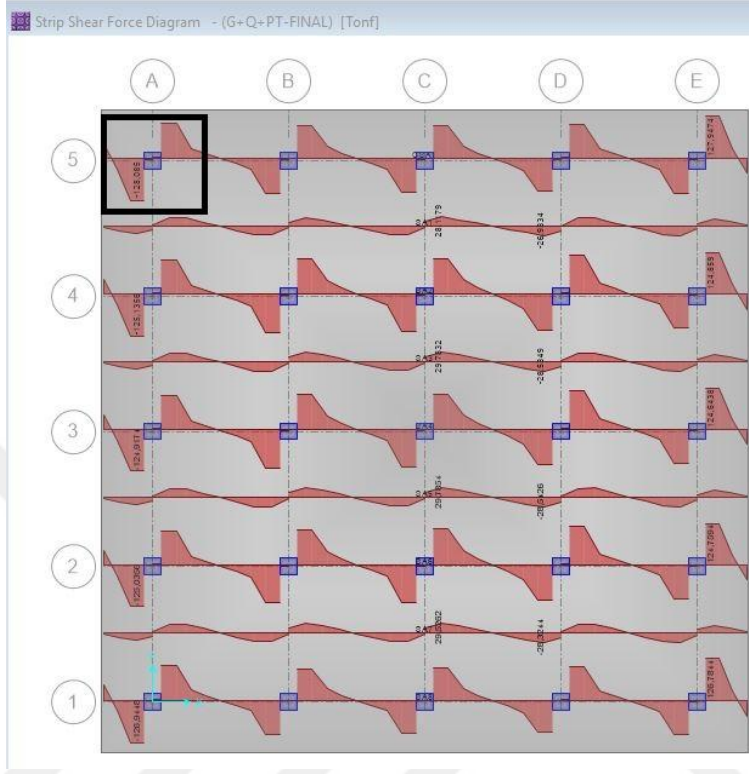
Şekil 6.19 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu x doğrultusu moment değerleri.

G+Q+PT-FINAL kombinasyonu sonucu oluşan momentler şekil 6.20'de görülmektedir. Maksimum momentlerin oluştuğu yerler işaretlenmiştir. y doğrultusunda oluşan açıklık momentinin maksimum değeri -48,50 t.m, mesnette oluşan maksimum moment değeri 125,56 t.m'dir.



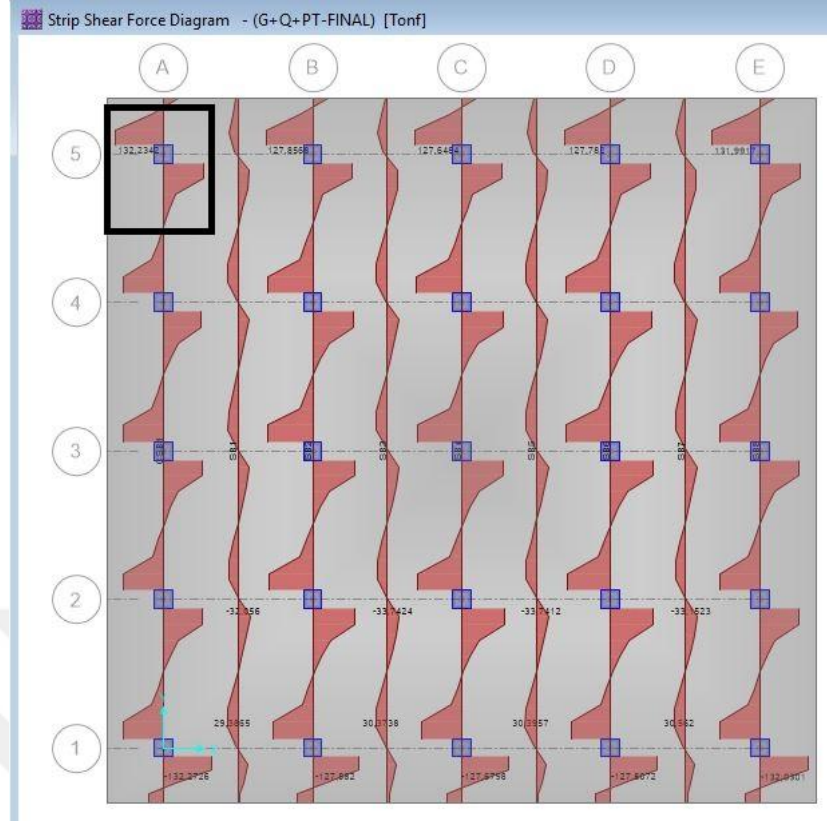
Şekil 6.20 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu moment değerleri.

G+Q+PT-FINAL kombinasyonu sonucu x doğrultusunda oluşan kesme kuvveti değerleri şekil 6.21’de görülmektedir. Maksimum kesme kuvveti değeri 128,08 t.m’dir.



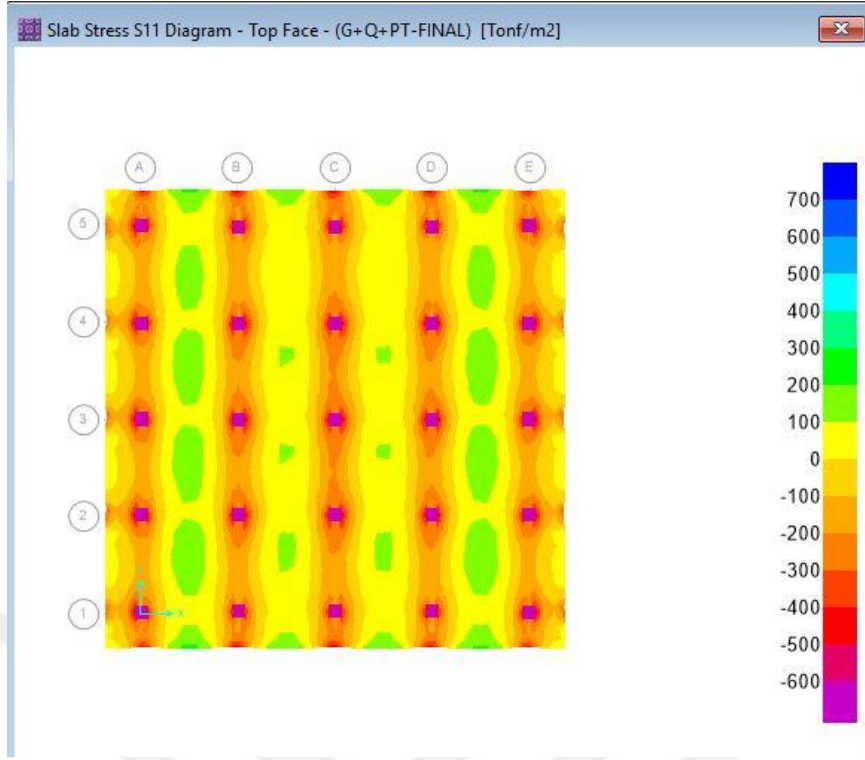
Şekil 6.21 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu x doğrultusu kesme kuvveti değerleri.

G+Q+PT-FINAL kombinasyonu sonucu oluşan momentler şekil 6.22’de görülmektedir. y doğrultusunda oluşan maksimum kesme kuvveti değeri 132,23 t.m’dir.

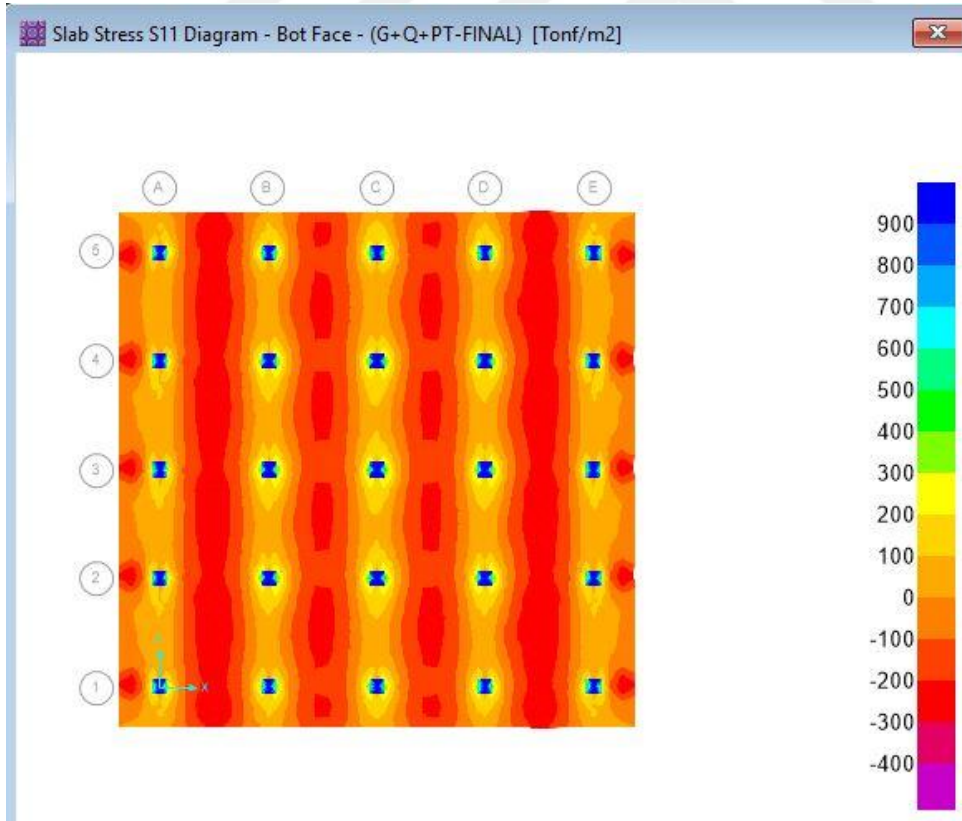


Şekil 6.22 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu kesme kuvveti değerleri.

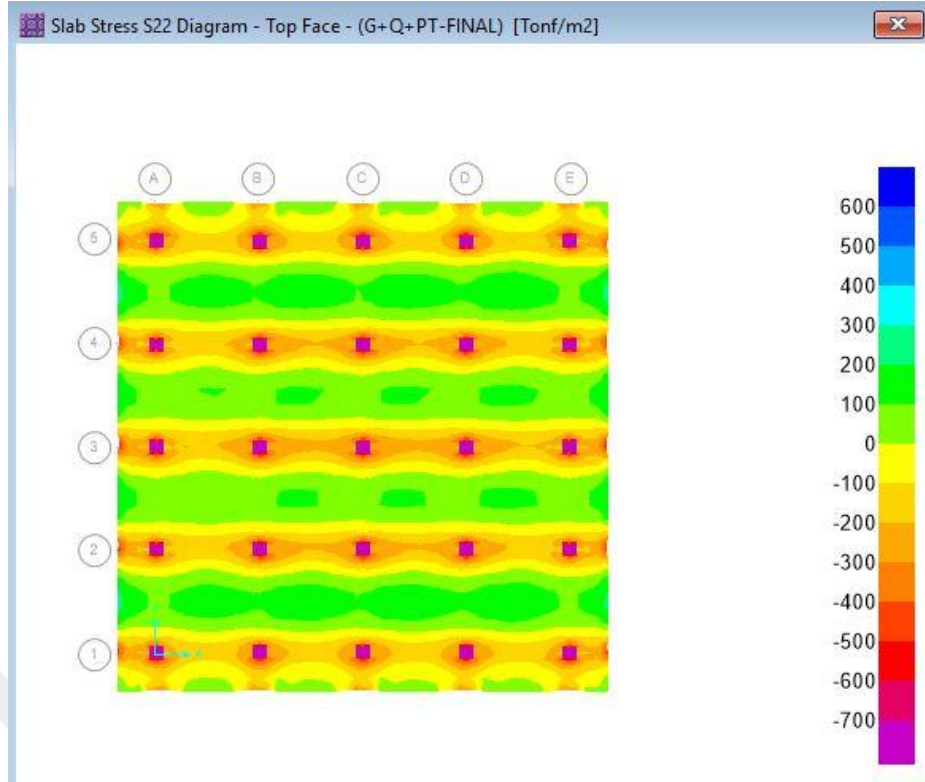
Final esnasında sınır gerilme değeri basınç bölgesinde $0,45 f_{ck}$ iken çekme bölgesinde $1,6 \sqrt{f_{ck}}$ 'dir. Gerilme sınır değerlerimiz çekme bölgesinde $1011,9 \text{ ton/m}^2$, basınç bölgesinde 1800 ton/m^2 'dir. Şekil 6.23, 6.24 'de y yönünde sırasıyla üstte ve altta oluşan gerilme değerleri verilmiştir. Şekil 6.25 ve 6.26'da ise x yönünde oluşan gerilme değerleri verilmiştir.



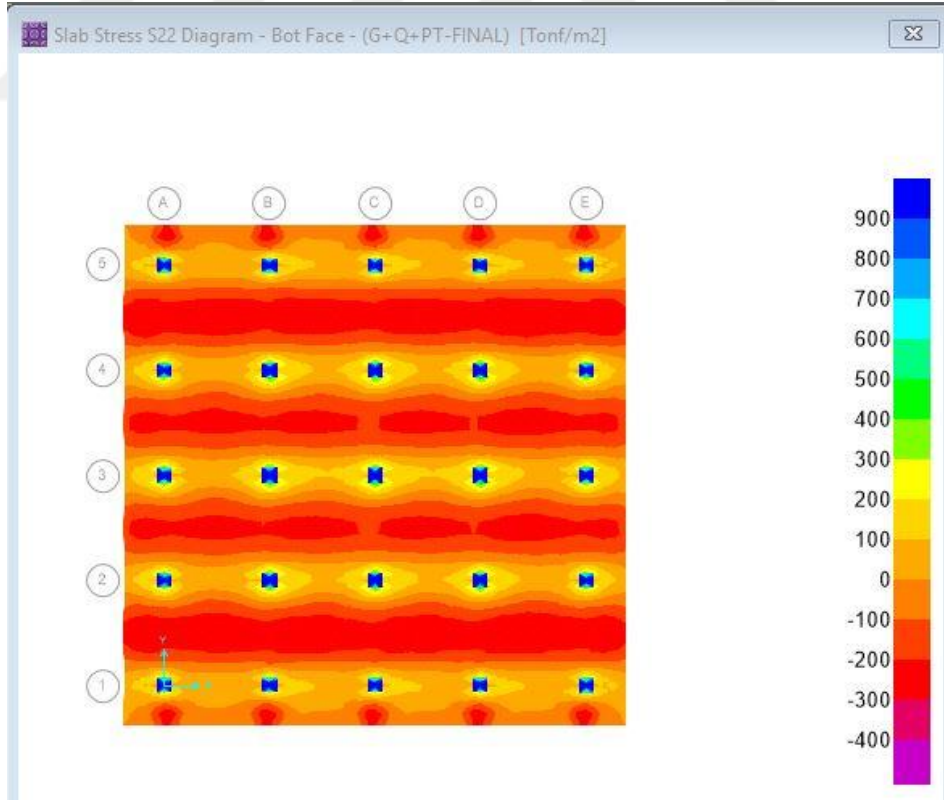
Şekil 6.23 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu gerilme değerleri (üst).



Şekil 6.24 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu gerilme değerleri (alt).



Şekil 6.25 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu x doğrultusu gerilme değerleri (üst).



Şekil 6.26 : G+Q+PT-FINAL kombinasyonu y doğrultusu gerilme değerleri (üst).



7. SONUÇLAR

Tez kapsamında ard çekmeli radye temel ve betonarme radye temel yapısal açıdan karşılaştırılmıştır. Moment, zımbalama ve kesme kuvveti açısından oldukça avantajlı bir sistem olduğu görülmüştür. Temel kalınlığı azalmıştır, uygulanan ard çekme kuvvetiyle orantılı olarak kesme kuvveti ve moment değerleri de azalmıştır. Ayrıca zemin açısında incelendiğinde, gerilmelerin uniform dağıldığı, oturma ve zemin gerilme değerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

Yapılan uygulama sonucunda G ve Q yükleri altında zımbalama tahkikine göre betonarme radye temelde, minimum temel kalınlığını 160 cm iken ard çekmeli radye temelde ise 120 cm'dir. Ard çekme yöntemi ile temel kalınlığı %25 azalmıştır.

Betonarme temel tasarımında, maksimum momentin olduğu mesnete Ø24/60 donatı yerleştirilmesi gerekmektedir ve uygulama aşamasında zorluklara neden olmaktadır. Ard çekme uygulandığında minimum donatı yerleştirmeyeterli olmuştur.

Kesme kuvveti özellikle kolon altı bölgelerde kritiktir. Betonarme çözümdede; kesme kuvveti değeri, tasarım kesme kuvveti değerini aşmaktadır ve ek donatı koyulması gerekmektedir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi ard çekme yöntemi ile kesme kuvveti kuvveti büyük oranda azaltılmıştır ve ek kesme donatısı koyulmasına gerek kalmamaktadır.

Aşağıda daha detaylı olarak incelenmiştir.

G+Q yüklemesi altında maksimum zemin gerilmesi 308 K_n/m², G+Q+PT-FINAL yüklemesi altında 293 kN/m²'dir. Zeminde oluşan gerilmeler ile oturmalar orantılıdır. Zemin oturma değerleri G+Q yüklemesi altında maksimum 1,54 cm, G+Q+PT-FINAL yüklemesi altında maksimum 1,46 cm'dir. Konvensiyonel sistemde ise G+Q yüklemesi altında zemin gerilme değeri 307,7 kN/m² hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1: Zemin gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

Kombinasyonlar	G+Q	G+Q+PT-FINAL
Zemin gerilme değeri (kN/m ³)	308	293
Yerdeğiştirme (cm)	1,54	1,46

x ve y doğrultusunda mesnet bölgesinde maksimum moment değeri G+Q yüklemesi altında +2334 kN.m, G+Q+PT-FINAL yüklemesi altında bu değer x doğrultusunda +1195,3 kN.m, y doğrultusunda 1255,6 Kn olarak hesaplanmıştır. Sistemin simetrik olmasına karşın ard çekmeli çözümde x ve y doğrultusunda hesaplanan momentler arasında oluşan fark, paspayının x doğrultusunda 13 cm, y doğrultusunda 8 cm bırakılması sonucu tarafsız eksene olan uzaklığın değişmesinden kaynaklanmaktadır.

x ve y doğrultusunda açıklık bölgesinde maksimum moment değeri G+Q yüklemesi altında -882,8 kN.m, G+Q+PT-FINAL yüklemesi altında bu değer x doğrultusunda -488 kN.m, y doğrultusunda -485 kN.m olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca maksimum mesnet momentin olduğu C ve 3 akslarının kesişim noktası için yapılan hesap ile sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 7.2'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.2: Moment değerlerinin karşılaştırılması.

Kombinasyonlar	Moment Değerleri (kN.m)	
	Konvansiyonel Sistem	Sonlu Elemanlar Yöntemi
G+Q	2580	2349,9
1,4G+1,6Q	3870	3423,9
PT-TRANSFER	1000,8	1263,1
PT-FINAL	927,2	1138,8
G+Q+PT-TRANSFER	1579,2	1136,1
G+Q+PT-FINAL	1652,8	1255,6

Çizelge 7.3'te G+Q kombinasyonu ve G+Q+PT-FINAL kombinasyonu sonucu hesaplanan maksimum kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Kesme kuvveti % 42 mertebesinde azalmıştır.

Çizelge 7.3: Kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.

Kombinasyonlar	Kesme Kuvveti Değerleri (kN)	
	G+Q	G+Q+PT-FINAL
x doğrultusu	2232,7	1280,8
y doğrultusu	2232,7	1322,3

Ard çekme sisteminin avantajlarının yanısıra, deneyimli personel gerektirmesi, kriko, kilit mekanizması gibi özel ekipman gerektirmesi, yüksek gerilmeler uygulandığı için güvenlik önlemi alınması gerekliliği bu sistem açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca gerilme kayıpları, ard çekmenin avantajlı / dezavantajlı olması açısından önemli bir faktördür.

KAYNAKLAR

- [1]Köseoğlu, S. (1987). *Temeller Statiği ve Konstruksiyonu*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [2]Aeberhard, H. U., Ganz H. R., Martı P., ve Schuler W. (1998). *VSL Post-Tensioned Foundations*. VSL International Ltd., Berne/ Switzerland.
- [3]Pişen, S. ve Pekşen E. (2009). Sığ Zeminler İçin Farklı Yöntemlerde Elde Edilen Zemin Emniyet Gerilmesi Değerlerinin Karşılaştırılması. *Uygulamalı Yerbilimleri*, 36-46, Sayı:2 (Ekim-Kasım).
- [4]Çinicioğlu, S. F. (2005). Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, *Seminer İnşaat Mühendisleri Odası*.
- [5]Kökten, Ö. (2008). *Yüzeysel Temellerin TS 500'e Göre Hesap ve Tasarım Yöntemleri*, (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6]Rogers, J. (2006). *Post-Tensioning Manual*, USA, Sixth Edition, 0-9778752-0-2
- [7]Doğangün, A. (2013). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, Ankara, 10. Baskı.
- [8]Doran, B. (2011). *Yapı Mühendisliği Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [9]Das, B. M. (2004). *Principles of Foundation Engineering*, Pacific Grove, CA:Brooks/Cole-Thomson Learning.
- [10]Özdemir, O. U. (2006). *Kazıklı Radye Temellerde Taban Basıncı Değişiminin İzlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11]Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis and Design*, Singapore, 2.Edition 0-07-911147-7
- [12]Aalemi, B., Ö. (1990). Load Balancing: A Comprehensive Solution to Post-Tensioning, *ACI Structural Journal*, USA.
- [13]Keyder, E. (2013). *Öngerilmeli Beton*, Seçkin Yayınevi, İstanbul, 2. Baskı, ISBN: 9789750009808
- [14] Swartz B. (2011). Post Tensioned Concrete Design, *ACI Structural Journal*, USA
- [15]Karaesmen, E. (2015). *Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler*, Freysaş Freyssinet Yapı Sis., İstanbul, 9786056527111.
- [16]Aalami, B. (2014). *Post –Tensioned Buildings, Design and Construction*, PT-Structures, Redwood City, CA.
- [17]Almeida, F., Camara J., Friedrich T., Voumards J. M. (2005). *Post-Tensioning in Buildings*, ISSN 1562-3610, ISBN 2-88394-071-1. Lusane, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib).

- [18]**Celasun, H., Polat Z.** (1974). *Öngerilmeli Beton*, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık, İstanbul.
- [19]**Attwell, T., Cross, G., Glover, B. D., ... Wium, D.** (t. y.). *Design of Prestressed Concrete Flat Slabs*, 0 – 620 – 17667 – 9, The South African Instituon of Civil Engineering.
- [20]**Özden, K., Eren, İ., Trupia, A., L., Öztürk, T.** (1998). *Öngerilmeli Beton*, İTÜ, 2. Baskı.
- [21]**Avril, R. A.** (1992). *Règles techniques de conception et de calcule des ouvrages et des constructions en béton précontraint suivant la méthode des états limites*, France.
- [22]**Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K.** (t. y.). *Örneklerle SAFE*, Yapı Yazılımı Yayınları.
- [23]**Keyder, E., Omar, İ.** (2018). Ard Germeli Radye Temel. *Türkiye Prefabrik Birliği, Sayı 126*, 14-16.
- [24]**Yerli, O.** (2013). *Ard Germeli Betonarme Siloların Tasarım Esasları ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hatice KÖKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.05.1992 / KIRŞEHİR
E-posta : htckkn92@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2015, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Müh.
- **Yüksek lisans** :2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2017 : Mimsa Alüminyum Ticaret ve Sanayi A.Ş.
- 2018- : Aluform PekintaşA.Ş.
- Çok katlı bir yapının deprem davranışının sarsma tablası ile analizi ve numerik modellenmesine dayanan projem, 2015 DASK Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı Yarışması'nda 'En İyi Mimari Özel Ödülü' ve 'Nihai Yıllık Kazanç Özel Ödülü'ne layık görülmüştür.