

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜZEY OTURMALARININ YAPILARIN DİNAMİK DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

H.Selçuk GÜLBAY

709021032

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03 Ağustos 2011
Tezin Savunulduğu Tarih: 16 Ağustos 2011**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. S. Ümit DİKMEN

AĞUSTOS 2011

ÖNSÖZ

Kentlerde yaşayan nüfusun artması ve buna bağlı olarak kentlerde oluşan fiziki büyüme, metro ve karayolu tünelleri gibi yer altı yapılarını bir yaşam biçimi olarak karşımıza çıkartmaktadır. Bu amaçla ülkemizde başta büyük şehirlerimizde olmak üzere yoğun bir şekilde hem metro hem de yol ve tünel inşaatları yapılmaktadır. Mevcut durumda da en yoğun faaliyet İstanbul'da gözlenmektedir. Bu çalışmada amaç, tünel açılması dolayısıyla zeminde meydana gelen şekil değiştirmelerinin üstyapıya olan etkilerini araştırmaktır. Tünel çalışmaları nedeniyle oluşan yüzey şekil değiştirme parametrelerinin kestirimi için deneysel yarı teorik bağıntılar kullanılarak 3 farklı çökme derinliğine ait parametreler elde edilmiş ve ülkemizdeki mevcut yapı stokunun büyük bir bölümünü temsil edecek 3 farklı yapı modeli oluşturulmuştur. Oluşan 72 farklı sistemde statik itme analizi çözümlenmesi yapılarak yüzey oturmalarının bu binaların deprem dayanımına etkileri irdelenmiştir.

Bu tezin hazırlanması aşamasında her adımda yardımcı olup yol gösteren değerli tez danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. S. Ümit DİKMEN ' e Teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos 2011

Hüseyin Selçuk GÜLBAY

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	İ
İÇİNDEKİLER	İİ
KISALTMALAR VE SEMBOL LİSTESİ	İV
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	X
ÖZET	Xİ
ABSTRACT	Xİİ
1. GİRİŞ	1
1.1 İstanbul'daki Ulaşım Amaçlı Tünel Çalışmaları	2
1.2 İstanbul'un Zemin Koşulları	7
1.3 Türkiye'de Deprem Yönetmelikleri	8
1.4 İstanbul'un Depremselliği	12
1.5 Çalışmanın Amacı	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ	21
3.1 Statik İtme Analizi	21
3.2 SAP2000 Yazılımı	24

4. TÜNEL KAZISI SONUCU YÜZEY OTURMALARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	26
4.1 Yüzey Oturmalarının Tahmini	26
4.2 Zemin Yapı Etkileşimi	32
4.3 Yapısal Analiz Modelleri	33
4.3.1 Modelin Oluşturulması	33
4.4 Yapısal Yükleme	34
4.4.1 Malzeme Sınıfı Ve Kesit Tanımlamaları	36
4.4.2 Yüzey Oturmalarının Programa Tanımlanması	38
4.4.3 Zemin - Yapı Etkileşimli Çözüm	40
5. ANALİZ VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	43
5.1 Dayanımın Tünel Aksı Üzerindeki Konumlara Değerlendirilmesi	45
5.2 Yapıların Kiriş Açıklığına Göre Kıyaslanması	53
5.3 Yapıların Çökme Derinliğine Göre Kıyaslanması	58
5.4 Yapılara Elastik Yay Tanımlanması Sonucu	65
6. SONUÇ ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMALAR VE SEMBOL LİSTESİ

ABYYYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	Federal Emergency Management Agency
ATC	Applied Technology Council
δ	Tünel merkeziyle tünel yüzeyindeki herhangi bir nokta arasındaki açısal yer değiştirme
D	Tünel çapı
su	Zeminin kayma mukavemeti
G	Kayma modülü
r	Tünel çevresindeki noktaların merkezle yaptıkları açı
N	Zeminin stabilite indeksi
n	Tünel kaplaması tarafından taşınan yük oranı
δAB	A ile B noktaları arasındaki farklı oturma
ω	Rijit dönme
lab	İki nokta arasındaki uzaklık
βAB	A ile B noktası arasındaki açısal distorsiyon
Vt	Toplam taban kesme kuvveti
Smax	Tünel yüzeyindeki maksimum çökme değeri
S	Tünel yüzeyindeki çökme değeri
i	Tünel çukuru eğrilik ifadesi
i	Tünel çukuru eğrilik ifadesi
K	Tünel oturma eğriliğini belirleyen zemin sabiti
Z	Tünel derinliği
x	Tünel orta aksından itibaren yanal mesafe
CL	Yapının tünel merkezine uzaklığı
Ac	Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
Ao	Etkin yer ivmesi kat sayısı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 İstanbul'da uygulaması devam eden bazı metro projeleri	3
Şekil 2.1 Oturma Kavramlarının Gösterimi	18
Şekil 2.2 Hasar dağılımları	19
Şekil 2.3 Hasar dağılımları	20
Şekil 3.1 Plastik mafsal şekil değiştirme özellikleri.....	22
Şekil 3.2 Kapasite eğrisinin elde edilmesi.....	23
Şekil 3.3 Sonlu elamanlar yöntemi	24
Şekil 4.1 Tünel kazısı nedeniyle oluşan oturma eğrisi	27
Şekil 4.2 Tünel kazısı nedeniyle oluşan oturma eğrisi.....	28
Şekil 4.3 Tünel kazısı üzerindeki 5.0 m açıklıklı yapı için çökme grafiği	29
Şekil 4.4 Tünel kazısı üzerindeki 6.0 m açıklıklı yapı için çökme grafiği	30
Şekil 4.5 Tünel kazısı üzerindeki 7.0 m açıklıklı yapı için çökme grafiği	31
Şekil 4.6 Temel Modeli Kabulleri.....	33
Şekil 4.7 Aks sisteminin SAP2000 programında oluşturulması	34
Şekil 4.8 5.0 m açıklıktaki yapıya uygulanan ölü yük 3 boyutlu gösterim	35
Şekil 4.9 7.0 m açıklıktaki yapıya uygulanan hareketli yük	35
Şekil 4.10 Modelde kullanılan beton özellikleri	36
Şekil 4.11 Modelde kullanılan kolon ve kiriş ebatları.....	37
Şekil 4.12 Kolonların aksel yük moment etkileşim diyagramı.....	37
Şekil 4.13 Yapının tünel üzerindeki konumu.....	38
Şekil 4.14 Çökme miktarı yapıların tünel merkezinden uzaklıklarına göre programa veri olarak girilmesi.....	39
Şekil 4.15 Statik itme analizi için modele uygulanan yükler	40
Şekil 4.16 FEMA - 356 yay katsayıları eşitlikleri	41

Şekil 4.17 Modelde uygulanan yay noktaları	42
Şekil 5.1 25 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 5.0 – 10.0 -15.0 m konumları	45
Şekil 5.2 50 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 5.0 – 10.0 -15.0 m konumları	46
Şekil 5.3 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 5.0 – 10.0 -15.0 m konumları	46
Şekil 5.4 25 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0 -6.0 - 12.0 -18.0 m konumları	47
Şekil 5.5 50 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları	48
Şekil 5.6 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları	49
Şekil 5.7 25 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 7.0 - 14.0 - 21.0 m konumları	50
Şekil 5.8 50 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 7.0 - 14.0 - 21.0 m konumları	51
Şekil 5.9 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0-7-14-21 m konumları	51
Şekil 5.10 Yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanım kapasitesindeki azalma	53
Şekil 5.11 Tünel merkezinde 25mm çökme derinliğinde 5.0, 6.0 ve 7.0 m açıklıklı yapı	53
Şekil 5.12 Tünel merkezinde 50mm çökme derinliğinde 5.0, 6.0 ve 7.0 m açıklıklı yapı	54
Şekil 5.13 Tünel merkezinde 75 mm çökme derinliğinde 5.0 , 6.0 ve 7.0m açıklıklı yapı	54
Şekil 5.14 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	55
Şekil 5.15 5.0 m kaydırılmış 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	56
Şekil 5.16 25mm çökme derinliğinde 5.0 , 6.0 ve 7.0m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma	56
Şekil 5.17 50mm çökme derinliğinde 5.0 , 6.0 ve 7.0m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma	57
Şekil 5.18 75mm çökme derinliğinde 5.0, 6.0 ve 7.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma	57

Konuyu diğer bir parametremiz olan çökme derinliğine göre kıyasladığımızda ise 5.0 m açıklıklı yapı için 1. ve 2. konumda üç çökme derinliği için aynı değerleri elde ediyoruz.. (Şekil 5.19).....	58
Şekil 5.20 15.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	59
Şekil 5.21 0.0m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	59
Şekil 5.22 6.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	60
Şekil 5.23 12.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	60
Şekil 5.24 18.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	61
Şekil 5.25 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	61
Şekil 5.26 7.0m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	62
Şekil 5.27 14.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	62
Şekil 5.28 21.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7m açıklıklı yapının konumları	63
Şekil 5.29 25mm 50mm ve 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma.....	64
Şekil 5.30 25mm 50mm ve 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma.....	64
Şekil 5.31 25mm 50mm ve 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma.....	65
Şekil 5.32 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	66
Şekil 5.33 5.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	66
Şekil 5.34 10.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	67

Şekil 5.35 15.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları	67
Şekil 5.36 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	68
Şekil 5.37 6.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	68
Şekil 5.38 12.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	69
Şekil 5.39 18.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları	69
Şekil 5.40 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	70
Şekil 5.41 7.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	70
Şekil 5.42 14.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	71
Şekil 5.43 21.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları	71
Şekil 5.44 25 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0-5.0-10.0-15.0 m konumları	72
Şekil 5.45 50 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0-5.0-10.0-15.0 m konumları	72
Şekil 5.46 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0-5.0-10.0-15.0 m konumları	73
Şekil 5.47 25 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları	73
Şekil 5.48 50 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları	74
Şekil 5.49 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları	74
Şekil 5.50 25 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0-7.0-14.0-21.0 m konumları	75
Şekil 5.51 50 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0-7.0-14.0-21.0 m konumları	75

Şekil 5.52 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0-7.0-14.0-21.0 m konumları	76
Şekil 5.53 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma	77
Şekil 5.54 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma	77
Şekil 5.55 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma	78
Şekil 5.56 25mm çökme derinliğinde 5m 6m ve 7m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma	78
Şekil 5.57 50mm çökme derinliğinde 5m 6m ve 7m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma	79
Şekil 5.58 75mm çökme derinliğinde 5m 6m ve 7m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma	79

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Deprem Katsayısı (C)	10
Tablo 1.2 n katsayısı (Hareketli yük ile ilgili)	10
Tablo 4.1 Tünel kazısı üzerindeki 5.0 m açıklıklı yapı için çökme değerleri	29
Tablo 4.2 Tünel kazısı üzerindeki 6.0 m açıklıklı yapı için çökme değerleri	30
Tablo 4.3 Tünel kazısı üzerindeki 7.0 m açıklıklı yapı için çökme değerleri	31
Tablo 5.1 grafiklerde kullanılan kodlamalar	44

ÖZET

Hızla artan kentleşme nedeniyle, başta metro ve karayolu tünelleri gibi ulaştırma ile ilgili yapılar olmak üzere bazı kentsel fonksiyonların daha iyi gerçekleştirilmesi için yeraltının kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Önemli ölçüde yaygınlaşan metro ve kara yolu tünel inşaatları, genellikle meskûn alanların altından geçmektedir. Bu meskûn alanlarda bulunan yapıların büyük bir bölümü ise orta yükseklikteki betonarme çerçeve sistemli, 4 - 5 katlı ve tekil temelli yapılardır. Bu yapılar 22 yıl gibi uzun bir süre yürürlükte kalan, 1975 Afet Yönetmeliği (ABYYHY-1975) esas alınarak tasarlanmıştır. Yüksek deprem riski taşıyan şehirlerde uygulanan tünel çalışmaları sırasında oluşan arazi topografyasındaki değişiklikler, yüzey çökmeleri ve yüzey şekil değiştirme hareketlerinin parametrelerinin önceden kestirimi, bu tür yapıların emniyeti açısından daha da önem taşımaktadır. Bu çalışmada; tünel çalışmaları nedeniyle oluşan yüzey şekil değiştirme parametrelerinin kestirimi için deneysel, yarı teorik bağıntılar kullanılarak 25, 50 ve 75mm olmak üzere 3 farklı çökme derinliğine ait parametreler elde edilmiş ve ülkemizdeki mevcut yapı stokunun büyük bir bölümünü temsil edecek 3 farklı yapı modeli oluşturulmuştur. Oluşan 72 farklı sistemde statik itme analizi çözümlenmesi yapılarak; yüzey oturmalarının bu binaların deprem dayanımına etkileri irdelenmiştir.

Analizler 4 farklı parametreye göre değerlendirilmiştir. Birinci parametre yapıların tünel merkezine göre konumları, ikinci parametre tünellerde meydana gelen maksimum çökme derinliği, üçüncü parametre yapıların giriş açıklıkları, dördüncü parametre ise yapı zemin etkileşiminde kullanılan yaylar olarak belirlenmiştir. Buna göre görülmüştür ki 25mm ve 50mm çökme derinliğinde yapının açıklığı deprem dayanımını çok fazla etkilememekte fakat 75mm çökme derinliğinde görülmektedir ki; açıklık arttıkça dayanım artmaktadır, yani açıklığı en az olan yapının dayanımı en azdır. 3. konumda 5.0m açıklıklı yapının deprem dayanım kapasitesi % 20 azalırken 6.0m açıklıklı yapının %15, 7.0m açıklıklı yapının ise %10 azalmıştır. Ayrıca 25mm ve 50mm de giriş açıklığının önemli bir etkisi yoktur. Fakat 75mm çökme derinliğinde giriş açıklığının her 1m artmasıyla dayanım %5 artmaktadır. Yani yapının çukur üzerinde geniş bir alana oturması yapıdaki oturma çarpıklığını azaltmaktadır.

ABSTRACT

Due to the rapidly increasing urbanization, particularly related to transportation such as subway and highway tunnels, including buildings to be used in some urban functions are becoming better for the realization underground. Significant widespread underground road tunnel constructions often go under the residential areas. The large part of the buildings in residential areas, are mid-rise reinforced concrete frame system, 4 - 5-storey and single-foundation structures. These buildings are designed with Disaster Regulation in 1975 which remain 22 years such as long period of time. It's important that during the tunnel work in cities the estimation of motion parameters such as high seismic risk, changes in land topography, the surface collapses and the surface deformation in advance for the safety. In this study, the surface deformation caused by the tunneling parameters for the empirical estimation using semi-theoretical equations derived from 3 different parameters for the depth of collapse in our country and will represent a large portion of the housing stock in 3 different building model was designed. Static pushover analysis, analysis of the system consisting of 72 different settlements, the effects of the earthquake resistance of buildings examined.

Analyses were evaluated according to 4 different parameter. First parameter is the location of the building according to the center of the in the tunnels, the second parameter is the maximum collapse depth, the third parameter beam span and the fourth parameter is determined as the springs used in the interaction of soil structure. According to this, the structure has been seen that in the 25mm and 50mm collapse depth the span of the structure doesn't effect the resistance but in the 75mm collapse depth the increase of the spam increases the resistance that means the less span is the less resistance. In third positon which is the 5m span structure decrease 20% in capacity building and 6m and 7m span structure, 15% and 10% respectively. In addition, the beam opening has no significant effect.in 25mm and 50mm collapse depth although every 1m opening of the beam increasing by 5% strength in 75mm collapse depth. In other words, the building sits over a large area on the pit reduces distortion of the structure.

1. GİRİŞ

Kentlerde yaşıyan nüfusun artması ve buna bağı olarak kentlerde oluşun fiziki büyüme, başta ulaştırma olmak üzere bazı kentsel fonksiyonların aksamasına sebep olmaktadır. Bu fonksiyonlardaki aksaklıkların giderilmesi için gün geçtikçe yeraltının kullanılması daha zorunlu hale gelmektedir. Bu bağlamda şehir içi yeraltı yapılarının başlıcaları olarak yeraltı otoparkları, metro ve karayolu tünelleri gibi ulaştırma ile ilgili yapıları sayabiliriz. Ayrıca her çapta atıksu tünelleri ile henüz çok fazla sayıda olmamakla beraber alışveriş, kültür, sanat merkezi gibi yapılar da mevcuttur [1]. Kısacası yeraltı yapıları bilhassa büyük şehirlerde bir yaşam biçimi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Büyük kentlerin birçoğunda iş yerleri ve alışveriş alanlarının büyük bir kısmı şehir merkezindedir. Diğer yandan ise şehirler fiziki olarak büyümekte ve bu nedenle şehrin sınırlarının merkeze olan mesafesi gün geçtikçe artmaktadır. Bu duruma bir çözüm olarak; şehrin dışında yeni oluşun yerleşim alanlarında alışveriş merkezleri ve iş yerleri oluşsa da bilhassa eski ve büyük imparatorluklara başkentlik yapmış İstanbul, Paris, Londra, Roma ve Moskova gibi tarihi şehirlerde kent merkezi hala önemini korumaktadır. Hatta bu savın tüm şehirler için de büyük çapta geçerli olduğu da ifade edilebilir.





Ne var ki, çoğu zaman mazisi uzun yıllara dayanan şehirlerde, şehir merkezi ve merkez çevresinde yapılaşma tamamlanmış, şehrin karakterini oluşturan simgesel yapılar ve cadde, sokak düzeni oluşmuştur. Hatta geçmişi otomobil öncesine dayanan şehirlerde varsa birkaç ana geniş arterin dışında yan yollar ve sokaklar çoğu kez oldukça dar oluşmuştur. Bu nedenle her geçen gün artan şehir merkezini ziyaret talebi karayolu araçları ile makul performans ölçütlerinde sağlanamaz duruma gelmiştir.

Benzer nedenlerle, ülkemizin büyüme ve gelişme sürecine bağlı olarak; İstanbul, Ankara, İzmir gibi büyük şehirlerde her geçen gün artan araç sayısı ve buna bağlı olarak mevcut yolların yetersiz kalması sebebiyle kent içi ulaşımı büyük sorun haline gelmiştir. Gün geçtikçe artan ulaşım talebinin karşılanması ve bilhassa şehir merkezlerinin şehrin dışında oluşan yeni yerleşim alanları ile bağlantısının sağlanması amacıyla inşa edilen metro ve karayolu tünelleri günümüz için iyi bir ulaşım alternatifi oluşturmaktadır. Bu amaçla tüm bu 3 büyük şehrimizde yoğun bir şekilde hem metro hem de yol ve tünel inşaatları yapılmaktadır. Mevcut durumda da bu 3 şehrin arasında en yoğun faaliyet İstanbul'da gözlenmektedir.

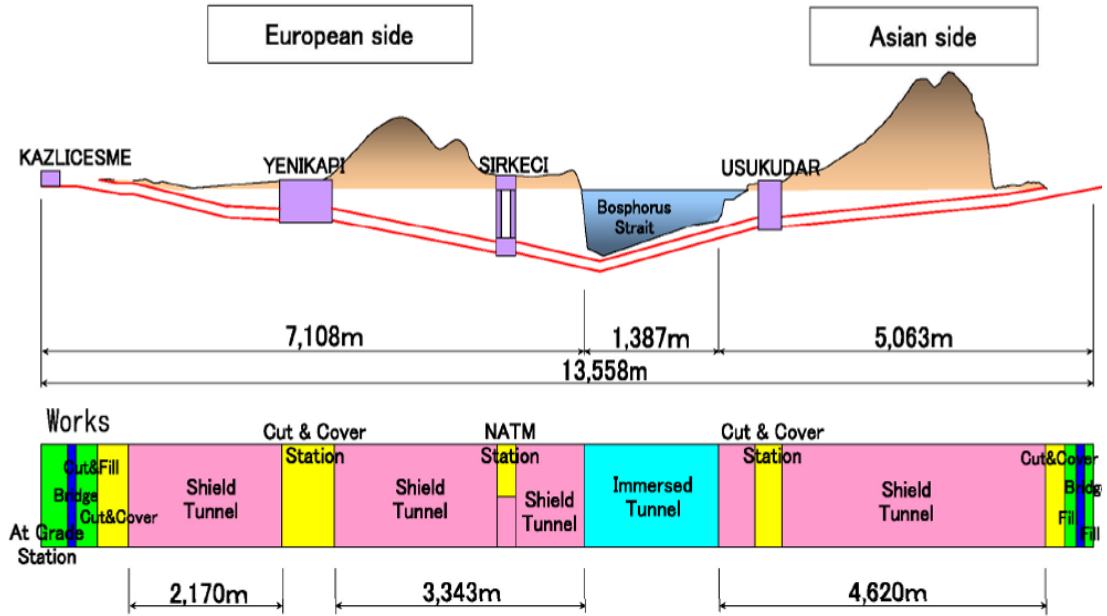
1.1 İstanbul'daki Ulaşım Amaçlı Tünel Çalışmaları

Raylı taşıma sistemlerinin; hızlı, ekonomik, güvenli, çevre dostu ve çağdaş sistemler olması, dünyadaki tüm metropollerde olduğu gibi İstanbul kent içi ulaşım sorununun çözümü içinde kaçınılmaz hale gelmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, bu amaçla 1985 yılında İstanbul'da raylı taşıma sistemlerini yeniden yaygınlaştırmak için hazırlanan projelerin inşaatlarını başlatmıştır. O tarihten günümüze dek ciddi miktarda proje gerçekleşmiş ve halen de inşaatı devam eden veya tasarım halinde olan çok sayıda proje vardır.

İstanbul'da halen uygulaması devam eden bazı metro projeleri şekil 1.1'de özetlenmiştir. Bunlar şehrin doğu yakasında Kozyatağı – Kadıköy (halen işletme testleri yapılmakta), batı yakasında Otogar – Kirazlı ve Başakşehir – İkitelli ve şehrin iki yakasını birleştiren Marmaray projeleridir. Bu projelerin toplam uzunluğu 36,6 km' dir. Bu projelerden Marmaray projesi, hem denizin 55.0 m altında daldırma tüp tünel içermesi hem de delme tünel içermesi nedeniyle oldukça enteresan ve karmaşık bir projedir. Projede delme kısımlar şehrin hem doğu hem de batı yakasında vardır. Batı yakasındaki delme kısımların tarihi yarım adanın içinden geçiyor olması ve Yenikapı civarında yüzeye oldukça yakın yerde yaşlı ve yıpranmış yapıların altından geçiyor olması da projeye olası yüzey oturumları nedeniyle ayrı bir güçlük boyutu katmaktadır. Bu proje ile temel bilgiler şekil 1.2.'de özetlenmiştir.

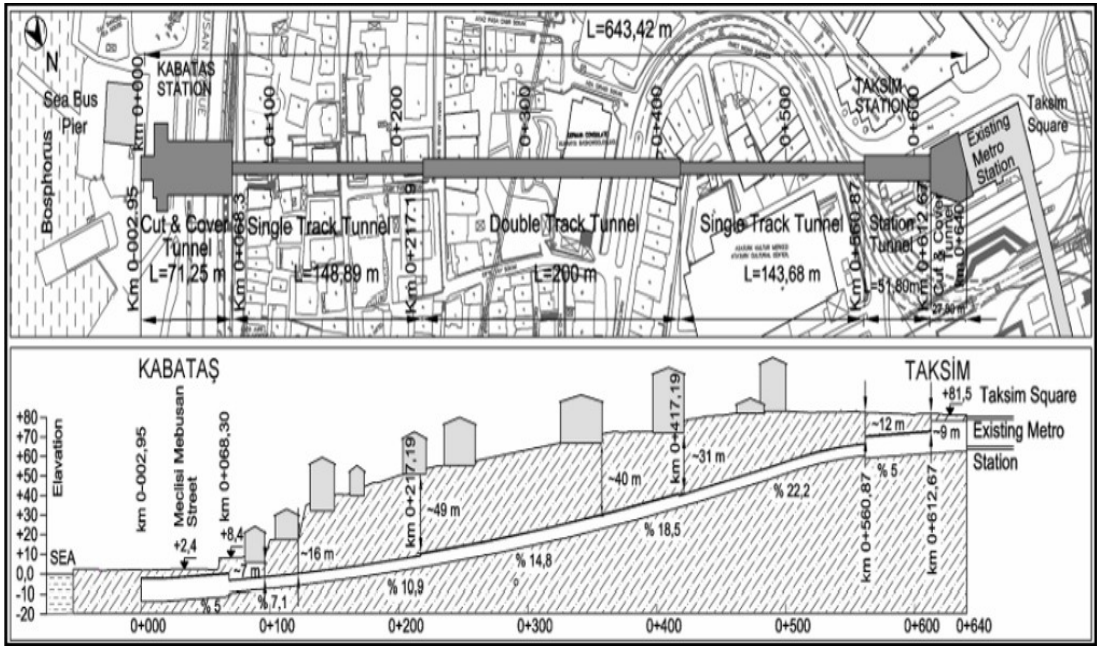
Proje	Metro tüneli	Metro tüneli	Metro tüneli	Metro tüneli
TBM kesici kafası				
Hat	Kozyatağı - Kadıköy	Otogar - Kirazlı	Başakşehir - İkitelli	Marmaray: Ayrılık Çeşme - Üsküdar
Müteahhit	Yapı Merkezi, Yüksel, Doğuş, Yenigün, Belen	Gülermak - Doğuş	Gülermak - Doğuş	Taisei - Gama - Nurool
Jeoloji	Kartal formasyonu	Güngören formasyonu	Güngörenformasyonu	Trakya formasyonu
TBM üreticisi	2 Herrenknecht (S360&S363) Açık mod+ EPB	Herrenknecht +Lovat EPB	2 Lovat (RME 257 - 18.000 & RME 257 - 23.100)	2 Hitachi - Zozem (aktif) 2 Hitachi - Zozem (beklemede)
TBM çapı, m	6,57	6,5; 6,5	6,5; 6,5	7,85
TBM toplam gücü, kW	2000	963; 1622	1400; 2100	-
TBM kesici kafa gücü, kW	1260	630; 900	900; 1124	2000 -
TBM dönme momenti, kNm	5200 - at 1,6 rpm 1515 - at 5,5 rpm i	4350; 4450 2,5 rpm ² ; 1,95 rpm	4400; 6600 1,7 rpm; 2,1 rpm	4450 - 1,9 rpm için -
TBM Maksimum itme gücü, kN	42575	35000; 54000		75000
En iyi günlük ilerleme, m	19,6; 16,6	24; 25	24; 29	13,7; 15
En iyi haftalık ilerleme, m	102; 80	119; 102	131	57; 63
En iyi aylık ilerleme, m	363; 291	419; 416	439; 475	230; 240
Ortalama günlük ilerleme, m -Ana durmaları içeren -	5,3; 6,1	5,4; 5,6	-	-
Ortalama günlük ilerleme, m - Ana durmaları içermeyen-	7,2; 7,7	11,3; 11,1	-	-

Şekil 1.1 İstanbul'da uygulaması devam eden bazı metro projeleri [2]



Şekil 1.2. Marmaray Projesi ile ilgili temel veriler [2]

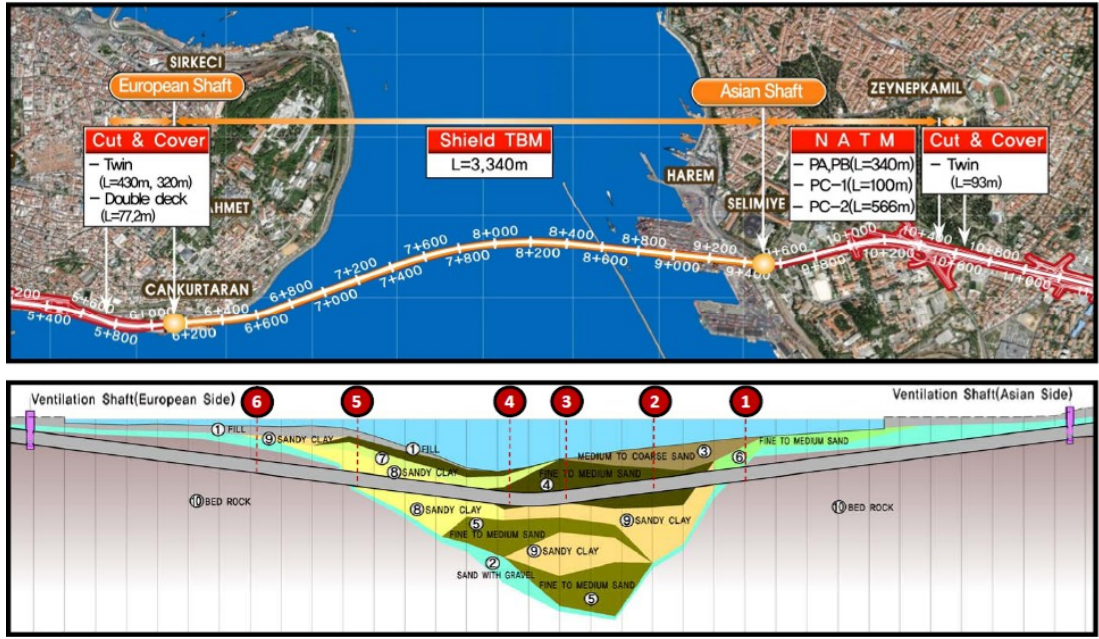
Bu projelerin yanı sıra 1985'ten günümüze kadar inşaatı tamamlanıp işletmeye alınmış olan 14,5 km Şişhane Atatürk Oto Sanayi Sitesi hattını, 19,6 km Aksaray Havalimanı metro hattındaki Aksaray, Emniyet-Fatih, Topkapı-Ulubatlı, Bakırköy-İncirli, Bahçelievler, Havalimanı tünelleri ve takriben 600 m uzunluğa sahip olan Kabataş – Taksim füniküler hatlarını sayabiliriz. Bu projelerden Kabataş – Taksim hattına ait plan ve en kesit şekil 1.3.'de verilmiştir. Bu projede de tünel inşaatının yüzeye yakın olduğu noktalarda binalarda oluşan oturma ve çatlaklardan dolayı çeşitli şikâyetler olmuştur.



Şekil 1.3. Taksim – Kabataş Füniküler Projesi [2]

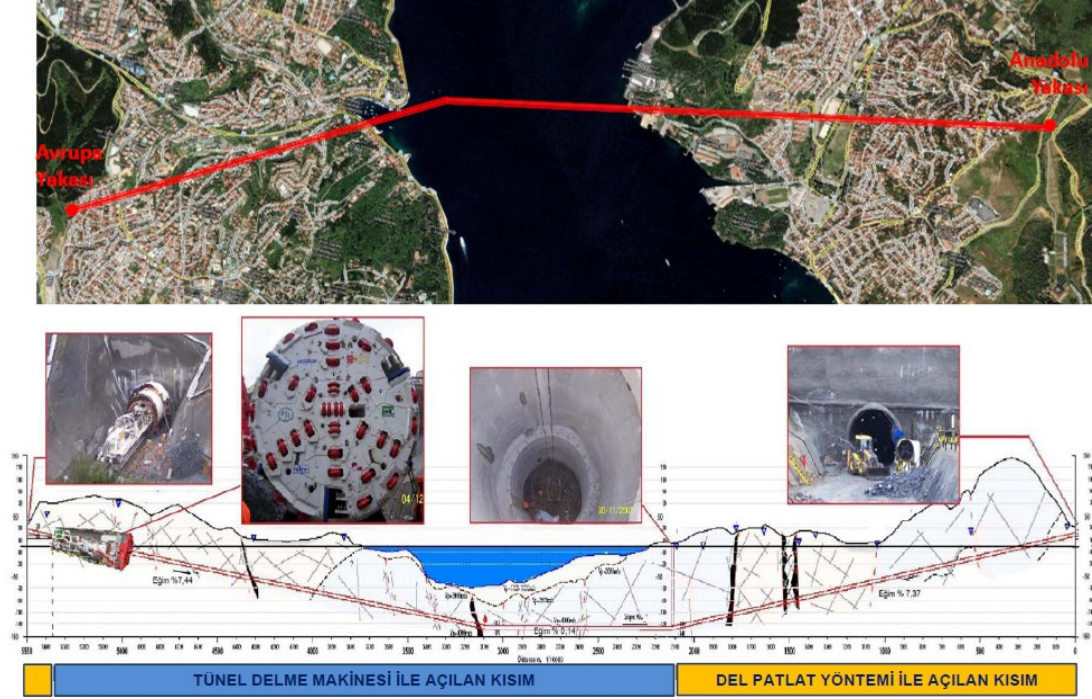
Ayrıca İstanbul'da lastik tekerlekli taşıtlar içinde çok sayıda tünel yapılması planlanmıştır. Bu tünellerin bir kısmı, inşaatları tamamlanarak işletmeye alınmış, bir kısmı da inşa halindedir. Planlanan tünellerin uzunluğu toplam 142 km'nin üzerindedir. Bu projelerden Kâğıthane - Piyalepaşa (1506 m) ve Bomonti - Dolmabahçe (2340 m) tünelleri işletmeye alınmıştır. Sarıyer -Çayırbaşı (4100 m) tüneline çalışmalar devam etmektedir.

İstanbul'da yapımına başlanmak üzere olan diğer bir iddialı projede Avrasya karayolu tüneli projesidir. Bu projede aynen Marmaray'da olduğu gibi şehrin doğu ve batı yakalarını birleştirmek amaçlıdır. İki proje arasındaki temel fark birinin münhasıran raylı taşımacılığa diğerinin ise münhasıran karayolu taşımacılığına ayrılmış olmasıdır. Diğer bir önemli noktada Avrasya tünelinin Marmaray'dan farklı olarak tamamen delgi yönetimiyle yapılacak olmasıdır. Proje ile ilgili temel veriler şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Avrasya Karayolu Tüneli Fikir Projesi [2]

Raylı sistemlerin ve karayolu tünellerinin yanı sıra İstanbul'da başarılı bir denizaltı projesi ayağıyla tamamlanan Melen Çayı projesi de önemli tüneller arasında yer almaktadır. (Şekil 1.5)



Şekil 1.5. Melen Projesi Tünel kazı çapı $D=6,15\text{m}$; Tünel uzunluğu $L=5,5\text{ km}$ [2]

Hem karayolu, hem de metro amaçlı yapılan tünellerinin başta hizmet edecekleri amaca uygun olmalarının yanı sıra şehrin mevcut topografyasına bağlı olarak örneğin İstanbul'da genel itibariyle aks derinlikleri 25.0 – 35.0 m civarındadır. Yani genel olarak orta sıklıkta tünellerdir. Diğer yandan, yapılan tünel çalışmaları sırasında tünelin yapım teknolojisine, yüzeyden olan derinliğine, zemin özelliklerine bağlı olarak; tünel inşaatı sırasında kazı çevresinde zemin kütlelerinde gerilmelerde değişiklik ve zemin kaybı oluşmaktadır. Zemin kütlelerindeki bu gerilme değişiklikleri genellikle dikey ve yatay zemin hareketlerinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu hareketlerin etkisiyle yüzeyde oturma ve yer değiştirmeler oluşmakta ve yüzeydeki yapılarda meydana gelen hasarlar büyük ve endişe verici bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. [3] Bu noktada vurgulanması gereken önemli bir nokta da, İstanbul'da inşa edilmiş veya edilmekte olan çeşitli tünel çalışmalarında yüzey oturmalarının 100.0 mm 'ye varan mertebelerde olduğu bilinmesidir. [4]

Ülkemizde, kent içi ulaşımında kullanılan tünel çalışmalarının çoğunlukla meskûn alanların altından geçmesi bu sorunun ülkemiz açısından önemini daha

da arttırmaktadır. Hiç şüphesiz ki bu çalışmalar yüzeyde bulunan yapıların taşıyıcı elemanlarında tasarım sırasında öngörülmeven farklı gerilmelere yol açmaktadır. Bu iç gerilmeler yapının statik ve dinamik dayanımını etkilemektedir.

1.2 İstanbul'un Zemin Koşulları

İstanbul'un hızla büyüyen bir metropol olmasının meydana getirdiği yapılaşmanın bir sonucu olarak kent sınırlarının oldukça genişlemesi, kentin üzerine oturduğu zemin tiplerini çeşitli kılmaktadır. Tez'in bu alt bölümünde İstanbul'un zemin yapısı, O. Tüysüz tarafından yayımlanmış çalışmadan doğrudan alıntı yapılarak özet şeklinde aktarılacaktır.

İstanbul'un üzerine oturduğu bu zemin tipleri zemin davranışı açısından üç kısımda ele alınabilir. Birinci kısım Paleozoik yaşlı kayalardan oluşur. Bunların ortak özelliği yaşlı ve sağlam kayalardan oluşmasıdır. Özellikle Avrupa yakasında Halkalı, Küçükçekmece ve İkitelli civarlarında görülen Eosen yaşlı kireçtaşları da sağlam kaya niteliği nedeniyle bu kısma dahil edilebilir. İkinci kısım, Mimarşinan, Gürpınar ve çevresinde görülen Gürpınar formasyonu, Karaburun formasyonu ve eşdeğerleri, Bakırköy, Gaziosmanpaşa, Bahçelievler ve çevresinde görülen Üst Miyosen istifleri ile Anadolu yakasında daha fazla görünen ve geniş yayılımlı olan Belgrat formasyonunun tutturulmamış ya da çok zayıf tutturulmuş kırıntılarından oluşur. Bu kısmın ortak özelliği genellikle killi, kumlu yer yer zayıf tutturulmuş nitelikte birimleri içermesidir. Üçüncü kısım ise genellikle zayıf zemin niteliği taşıyan alüvyon, yamaç molozu ve suni dolguları içerir.

İstanbul taş yapısı kuvarsit, arkoz, grovak, şeyl ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu birimlerin orijinal niteliklerinin korunduğu alanlarda yerleşim açısından son derece sağlam bir kaya ortamı mevcuttur. Ancak bu birimlerin zaman içinde kırık, çatlak fay ve makaslamalar ile atmosferik koşullar altında uğradıkları değişiklikler orijinal kaya davranışının bozulmasına neden olmuşlardır. Özellikle zemin davranışı açısından önemli olan üst 30.0 m 'lik tabaka içerisinde görülen ayrışma, fiziksel ve kimyasal değişiklik İstanbul'da mühendislik yapılarının inşasında karşılaşılan büyük problemlere yol açmaktadır. Örneğin Kurtköy formasyonunun arkozları orijinalde

sert - çok sert kaya niteliği taşımalarına rağmen yer yer oluşan fiziksel ve kimyasal değişiklik sonucu tamamen kuma dönüşmüş olarak izlenmektedir. Ayrıca, Avrupa yakasında yaygın olarak görülen ve İstanbul'un tünel, metro, köprü gibi önemli mühendislik yapıları için detaylı araştırılmış olan Karbonifer yaşlı grovaklar (Trakya formasyonu) yer yer aşırı çatlaklı yapısının yanı sıra killeşme, ayrışma gibi ikincil etkilerle de kaya niteliğini yitirmiş olarak bulunabilmektedir.

Bu birimler içerisinde zemin davranışını etkileyecek başlıca ikincil etkilerin başında yeraltı suyu gelmektedir. Örneğin yer yer gevşek kumlardan oluşan Çukurçeşme formasyonunda sığ yeraltı suyu varsa zemin taşıma gücü son derece azalmaktadır.

İstanbul'un kuzey kesimlerindeki Şile, Kilyos, Sarıyer civarlarında yaygın olarak mostra veren ve üzeri Miyosen çökelleri ile örtülen Üst Kretase yaşlı volkanik istifler de farklı zemin davranışı gösteren birimlerdenidir. Bu istifin egemen litolojisi olan volkanitler genellikle şiddetli bir alterasyondan etkilenecek kısmen ya da tümü ile killeşmişlerdir. Orijinalde masif kaya olan bu birimler çoğu mühendislik çalışmalarında sert - orta sert kil olarak değerlendirilmektedir. Alüvyonlar dere içerilerine özgü alanlarda yer almakla birlikte üzerlerinde yer yer yoğun yerleşim görülmektedir. Gerek alüvyonlar gerekse benzer zemin davranışı gösteren örneğin yamaç molozları gibi diğer birimler ve dolgular zemin davranışını olumsuz etkileyen birimlerdir. Bunlarda zemin ve şev duyarsızlıkları, oturma, kabarma ve kayma olayları ile 3 misline varan zemin büyütmesi başlıca sorunları oluşturmaktadır. Çoğu çalışmada bu tür birimler üzerinde yerleşimden kaçınılması tavsiye edilmektedir. [5]

1.3 Türkiye'de Deprem Yönetmelikleri

Ülkemizin büyük bir bölümünün deprem bölgesinde yer alması ve yakın tarihimizde de görüldüğü gibi depremlerin çok büyük can ve mal kayıplarına sebep olması, gelişi güzel inşa edilen yapıların denetimsizliği ve uygulamadaki eksiklikleri ortaya koymaktadır. Bu sorunların önüne geçmek için birçok deprem yönetmeliği yayınlanmıştır. Ülkemizde 9 adet deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir.

- 1940 - Zelzele Mıntıkalarında Yapılacak İnşaata ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
- 1944 - Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
- 1949 - Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
- 1953 - Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
- 1962 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1968 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1975 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 1997 - Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)
- 2007 - Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY)

Hemen hemen tümü Afet Yönetmeliği başlığıyla çıkan bu yönetmeliklerde hep deprem konusu daima hakim olmuş ve sel ve yangın gibi diğer afet konularına yer verilmemiştir. [6]

1949 Deprem Yönetmeliğine kadar yürürlüğe giren deprem yönetmeliklerinde betonarme binaların yaygın olarak kullanılmamasından dolayı betonarme binalardan tam olarak söz edilmemiştir. Bu yönetmeliklerde deprem hesabı ile ilgili çalışmalar bulunmamaktadır. 1940'da yayınlanan Deprem Yönetmeliği yığma yapıların yaygın olduğu bir dönemde yayınlanmıştır, yönetmelikte genelde mimari konular üzerinde durmuştur. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinden söz edilmekle beraber, hesap olarak kat yüksekliği, duvar kalınlığı, temel durumu gibi adeta konstrüktif kurallardan bahsedilmektedir. Konuyla ilgili cezai hükümlerde yönetmelikte yer almaktadır. 1944 Deprem Yönetmeliğinin giriş kısmında cezai hükümler ve ruhsat alma işlemleri yer almaktadır. Önceki yönetmelikten en önemli farkı temel zeminine önem vermesidir.

İlk deprem hesabı çok basitte olsa 1949 Deprem Yönetmeliğinde mevcuttur. Daha sonraki yönetmeliklerde deprem hesapları gittikçe ayrıntı kazanmıştır. 1953 Deprem Yönetmeliğinde deprem kuvvetlerinin hesabı daha ayrıntılı verilmiş ve tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 1.1 Deprem Katsayısı (C)

ŞARTLAR	1° Deprem Bölgesi	2° Deprem Bölgesi
a) Yerlikaya kalınlığı 1m.den fazla olan zeminler üzerine yapılacak yapılar için	0.02	0.01
b) Aşgari kalınlığı 3 m olan sert kil zeminler üzerine yapılacak yapılar için	0.03	0.02
c) Diğer iki şıktaki zeminlerin dışında kalan zeminlerin üzerine yapılacak yapılar için	0.04	0.03

Tablo 1.2 n katsayısı (Hareketli yük ile ilgili)

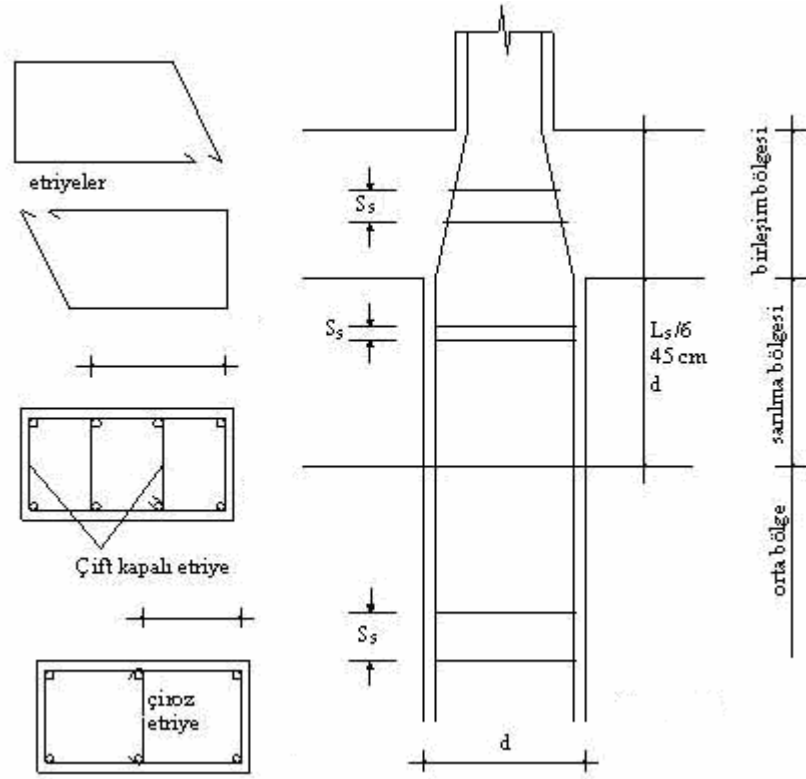
YAPI TÜRÜ	n
Sinema, tiyatro, otel, kahvehane, fabrika, umumi toplantı ve işyeri olarak kullanılacak yapılarda	1
Resmi yapılarda	1/2
Meskenlerde	1/3

Zemin konusuna daha fazla önem verilerek, zemin emniyet gerilmesi değerleri de çeşitli sınıf zeminler için belirlenmiştir. 1962 Deprem Yönetmeliğinde ise, bir önceki yönetmeliğe göre çok büyük değişiklikler olmayıp, deprem kuvvetleri hesabı bir basamak daha ilerletilmiştir. Ayrıca su baskını ve yangın afetinden bahsedilmiştir. Önceki yönetmeliklerden farklı olarak, bu yönetmelikte bir bölüm (beşinci bölüm) deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki hususlara ayrılmıştır. Yapı temellerinden, taşıyıcı döşemelerden, yapıların konsol şeklindeki kısımlarından bahsedilmiştir.

1968 Deprem Yönetmeliğinde depremden başka su baskını ve yangın afetinden korunma hususunda da bazı önerilerde bulunulmuştur. Bu yıllarda artık betonarme binaların önem kazandığı ülkemizde betonarme yapı elemanlarının genel özelliklerinden bahsedilmiş, boyut ve donatı ile ilgili kurallara yer verilmiştir. Ayrıca bu yönetmelikte çizimler yapılarak, görselliğe önem verilmiş ve anlatılanların daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Yönetmeliğin daha öncekilerden en önemli farkı betonarme inşaat elemanlarının kurallarından bahsetmesi ve deprem hesabının daha ayrıntılı hale gelmesidir.

İlk kapsamlı deprem yönetmeliği olarak nitelendirilebilecek olan, 1975 Deprem Yönetmeliğinde ülkemiz 1. , 2. , 3. ve 4. derece deprem bölgelerine ayrılmıştır. Artık yapı nüfusuna betonarme binalar hakim olmuştur. Yönetmelik zamanına göre çok başarılı bir çalışmadır. Betonarme elemanlarla ilgili verilen boyut ve donatı değerleri, zamanın bilgi seviyesinde, depremlerde yeterli denilebilecek seviyeye getirilmiştir.

Deprem kuvvetleri hesabı birçok parametreye göre detaylı bir şekilde yapılmaktadır. Depremlerde ağır hasara neden olan birçok eksiklik görülmüş ve bu yönetmelikte düzeltilmiştir. Yönetmelikte özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerine ve kolon, kiriş sarılma bölgelerine önem verilmiştir. Bu konu şekillerle açıklanarak üzerinde durulmuştur. (Şekil 1.6) Betonarme perdeler konusuna geniş yer verilmiş ve ilgili kurallar açıklanmıştır. [7]



Şekil 1.6 1975 Deprem Yönetmeliği Kolon, boyuna ve enine donatıları [7]

1997 Deprem Yönetmeliği gelişen bilgi ve teknolojinin kullanıldığı, yapı tasarımında deprem hesabı ile ilgili gerekli birçok denklem ve tablonun bulunduğu, 1998 yılında yapılan değişikliklerle de yönetmelik, önemli miktarda, depreme dayanıklı yapı tasarımı için eksiksiz duruma getirilmiştir. Hatta diğer gelişmiş

ülkelerdeki standart ve yönetmelikler dikkate alındığında oldukça emniyetli bir tasarım yaklaşımı içindedir.

2007 deprem yönetmeliğinde ise bazı sınır değer ve hesaplama şekilleri yeniden düzenlenmiş birçoğu ise 1998’deki haliyle korunmuştur. Bazı ifade ve tanımlar ise anlam karmaşasına yol açılmaması ve farklı yorumlanmaması için daha net bir biçimde yazılmıştır. [8]

1949 yılında yönetmeliklerde yer alan deprem hesapları, 1968 Deprem Yönetmeliğinde yeterli bir niteliğe kavuşmuştur. 1968 yılından bu yana ülkemizde yürürlüğe giren deprem yönetmeliklerinde deprem kuvvetlerinin hesap şekli yer almıştır. Fakat depremler sonrasında karşılaşılan ağır hasarlı binaların son derece fazla olması, 1997 yönetmeliğinden önceki yönetmeliklerin uygulamada yetersiz kaldığı konusunu gündeme getirmektedir. [6]

1.4 İstanbul’un Depremselliği

İstanbul ili dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri üzerindedir. Bu bağlamda Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğünce yayınlanan deprem bölgeleri haritasına göre İstanbul’daki yerleşim alanlarının büyük kısmı 1. ve 2. deprem bölgesindedir. (Şekil 1.7)



Şekil 1.7. İstanbul İl’i deprem bölgeleri (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996)

Uzun bir geçmişi olan İstanbul gibi metropollerde bulunan birçok yapı, halen yürürlükte olan 2007 deprem yönetmeliğinden önceki 1975 ve 1997 gibi değişik deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmış ve yapılmıştır. Ülkemizde 1975 ile 1997 yılları arasında büyük depremler yaşanmış olmasına rağmen, 1997 yönetmeliğine kadar 1975 Deprem Yönetmeliği uzun yıllar yürürlükte kalmıştır. Bu durum 22 senelik zaman dilimine tekabül etmektedir, dolayısıyla bu yönetmeliğe göre yapılmış yapılar azımsanmayacak kadar fazladır. Düşünülmesi gereken en önemli konulardan biri de bu yapılarda yönetmelik ve standartlara ne kadar uygun tasarım yapıldığıdır.

Deprem performansının belirlenmeye çalışıldığı binaların büyük bir kısmının inşa edildiği tarihte yürürlükte bulunan yönetmeliklere uygun olmadığı veya önemli tasarım eksikliklerin bulunduğu tespit edilmiştir. [6] Bu da tasarım açısından farklı özelliklerde çok sayıda yapının olduğu anlamına gelmektedir. Bu dönemde yapılan yapılar daha çok tekil temelli ve 4-5 katlı çerçeve sistemli yapılardır. Öyle ki geçtiğimiz yıllarda yanında hafriyat kazısı dahi yapılan birçok betonarme çok katlı çerçeve yapıların, kayma ve ani oturmalara bağlı olarak göçtüğü unutulmamalıdır. Elbette bu örneklerde kontrolsüz yapılan kazıların zeminde yol açtığı yük boşalmasının önemli bir etmen olduğu bir gerçekse de, bu yapıların zemin deformasyonuna toleransı olmadan tasarlandığı ve inşa edildiği de bir o kadar gerçektir. Bu sebepten ötürü birçok yapının deprem etkisine maruz kalmadan, sadece zeminde yapılan kazılar sonucu dahi göçme potansiyeli olduğu göz ardı edilmemelidir. [9].

1.5 Çalışmanın Amacı

Hızla artan kentleşme nedeniyle, önemli ölçüde yaygınlaşan metro ve kara yolu tünelleri inşaatları, genellikle meskûn alanların altından geçmektedir. Bu meskûn alanlarda bulunan yapıların büyük bir bölümü ise orta yükseklikteki betonarme çerçeve sistemli, 4 - 5 katlı ve tekil temelli yapılardır. Bu yapılar 22 yıl gibi uzun bir süre yürürlükte kalan 1975 Afet Yönetmeliği (ABYYHY-1975) esas alınarak tasarlanmıştır. Yüksek deprem riski taşıyan şehirlerde uygulanan tüneller çalışmaları sırasında oluşan, arazi topografyasındaki değişiklikler, yüzey çökmeleri ve yüzey

şekil değiştirme hareketlerinin parametrelerinin önceden kestirimi, bu tür yapıların emniyeti açısından daha da önem taşımaktadır.

Bu çalışmada; ülkemizdeki mevcut yapı stokunun büyük bir bölümünü temsil edecek 3 farklı yapı modeli oluşturulmuştur. Bu yapı modellerine, tünel kazılarından dolayı ortaya çıkan 3 farklı çökme derinliğine ait parametreler yansıtılmıştır. Uygulanan 72 farklı sistemde statik itme analizi çözümlenmesi yapılarak yüzey oturumlarının, bu binaların deprem dayanımına etkileri irdelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tünel inşaatları nedeniyle oluşan zemin yüzeyi oturmalarının yapıların dayanımı üzerindeki etkisi üzerine literatürde farklı araştırmacılar tarafından yapılmış çok değerli çalışmalar vardır. Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak yığma yapılar ve kısmen de betonarme çerçeve yapılar ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar diğer bir ortak özelliği de sadece oturmaların statik durumda yapıların dayanımına etkisinin incelenmesidir.

Yapılan ilk çalışmalarda yapı davranışının, saha araştırmaları ışığında irdelenen analitik yöntemlerle açıklanması incelenmiş, (Skempton ve McDonald 1957; Bjerrum 1963; Meyerhof 1953 ve 1956; Polshin ve Tokar 1957; Burland ve Worth 1974; ve Wahls 1981) yapıların kendi ağırlıkları altındaki oturma sınırları ile ilgili öneriler geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda hasarlar ve yapının yanıtı açısız şekil değiştirme ya da yapıdaki dönme oranıyla ilişkilendirilmiştir.

Daha sonraki yapılan çalışmalarda ise yapının zemin yer değiştirme hareketine olan tepkisi; madencilik, tünel açılması ve açık kazılar sonucunda civar yapılarda ortaya çıkan değişimler incelenmiştir. (Brauner 1973; Ulusal Kömürcülük Yönetim Kurulu 1975; Littlejohn 1974; Geddes 1977; Breth ve Chambosse 1974; Attewell 1977 a, b; O'Rourke 1976; Boscardin 1978, 1980; Mahar ve Marino 1981) Bunun nedeni; araştırmaların yapıldığı ülkelerdeki tünel çalışmalarının civarında daha çok bu tip yapıların mevcut olması ve özellikle yığma yapılar gibi gevrek davranış gösteren yapıların hasar durumlarının gözle kolay ölçülebilir olmasıdır.

Önceki bölümde sunulan bilgiler ışığında ülkemiz yapı stoğunun büyük bir bölümünü oluşturan orta yükseklikteki betonarme çerçeve binaların altından geçen ve ülkemizdeki büyüme ve gelişme sürecine bağlı olarak gün geçtikçe ihtiyaç haline gelen ve yaygın bir şekilde yapılan tünel kazılarından dolayı meydana gelen yüzey

oturmaları sonucu; yapıların taşıyıcı elemanlarında tasarım sırasında öngörülme­yen farklı gerilmeleri doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alınmasıyla performans değerlendirmesinin yapılması çalışılması gereken bir konudur.

Tüneller ve altyapı inşaatları sırasındaki oturmaları belirle­mekte, çeşitli hesap yöntemlerinin yanı sıra, genellikle kullanılan yöntem “Sonlu Elemanlar Yöntemi”dir. Bu yöntem, her ne kadar karmaşık zemin durumunu modellemek için vazgeçilmez bir yöntem olsa da tam tanımlanmamış mekanik ve fiziksel parametreleri içermesi açısından kolaylıkla uygulanamamaktadır. [10]

Birçok araştırmacı zeminde üç boyutlu modeli tasarlamak için sınırlı imkân­lara sahip olduğundan, iki boyutlu basit gerilme durumunu modelleyerek çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu, iki boyutlu düzlemde tanımlanan gerilme durumu, doğrultu boyunca dilimlere bölünmüş, sonlu elemanlar düzlemlerinin entegrasyonu­yla üç boyutlu olarak ifade edilebilmiştir.

Einstein ve Schwartz (1979) ve Pender (1980) tünel kazı işle­mi hakkında daha ayrıntılı elastik yaklaşımlar belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar tüneli derinde kabul edip yüzey oturmalarıyla ilişkilendirmemişler, bu nedenle de yaklaşımları diğer yöntemlerle karşılaştırılmamıştır. Tüneli, basınca maruz ortamda yani zeminde aniden meydana gelen oyuklar olarak tanımlamışlardır. Bu durumda tünel kaplaması yapılmamışsa tünel çevresi zeminde açılma ve kayma gerilmelerinde bir azalma söz konusudur. Tüneli ifade eden dairesel diskin ortamdan çıkartılmasıyla oluşan yüzey gerilmelerindeki ve doğrusal elastisite değişimi hesaplanabilir. Tünel yüzeyindeki sınır şartları, dış çeper ve zemin arasındaki kaymaya bağlı olarak belirlenebilir. Çeperin rijitliği de Flügge'nin (1966) dairesel elastik kabuk için vermiş olduğu ilişki yardımıyla belirlenebilir.

Mair ve Taylor (1993) tarafından geliştirilmiş, zemin plastisitesini içeren bir yöntemde de lineer elasto-plastik ortamda silindirik ve küresel oyukların kapalı form çözümleriyle, Londra Kilinde tünel açılmasından dolayı oluşan yüzey altı hareketlerinin kıyaslanmasıdır. Bu yöntemdeki kapalı form çözümleri aşağıdaki gibidir;

$$\frac{\delta}{D} = \frac{s_U}{3G} \left(\frac{D}{r} \right)^2 e^{(0,75 N^* - 1)} \quad 2.1$$

$$\frac{\delta}{D} = \frac{s_U}{2G} \left(\frac{D}{r} \right) e^{(N^* - 1)} \quad 2.2$$

Bu bağıntılarda “ δ ”, tünel merkeziyle r açı yapan noktadaki açılmalık yer değiştirme, “ s_U ”, suya doymuş zeminin kayma mukavemetidir. Stabilite oranı “ $N^* = \sigma_v / s_U$ ” olup, σ_v , tünel merkezinde kazı başlamadan önceki fazla yük değeridir. Yukarıdaki ifadelerde aksel yer değiştirmelerin ifadesi (küresel oyuklar) $(D/r)^2$ içeren denklem ile bu esnada gerçekleşen açılmalık yer değiştirme ifadesi de (silindirik oyuklar) (D/r) ifadesi içeren denklemler kullanılmıştır. Mair ve Taylor analizlerini devam ettirmişler, oyuk açılması sırasında boşalan kısmi yükü de ele alarak geçici tünel kaplaması durumu için (2.2) bağıntısını;

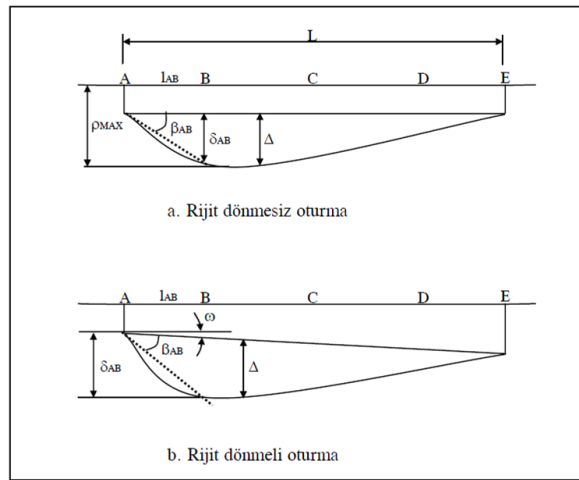
$$\frac{\delta}{D} = \frac{s_U}{2G} \left(\frac{D}{r} \right) e^{[N^* (1-n) - 1]} \quad 2.3$$

şeklinde genişletmişlerdir. Bu bağıntıda “ n ” parametresi, kaplama tarafından taşınan fazla yükün oranıdır. Bu yaklaşım, yeraltı oturma yüzeylerinin belirlenmesinde uygulanabilirlik teşkil etmektedir. Tünel stabilitesi Davis (1980), Sloan ve Assadi (1992) tarafından, iç destek basınçlı ve basınçsız durum için, oyuk durumunu içeren bağıntılardan hesaplanmıştır. Göçmeyi belirleyici metotların geliştirilmesi sırasında maden çalışmaları bakımından çokça incelenmiş olsa da tünel açılması bakımından aynı dikkati çekmemiştir.

Oturma değerlerinin hesaplanması ve ölçülmesiyle ya da oturmaları etkileyen faktörlerle ilgili olarak, büyük temel alanlı yapıların farklı tabakalardan oluşan zeminlere oturmaları durumunda oturmalarda büyük farklılıklar gözlenebileceği ve çatlakların oluşmasında en önemli nedenin farklı oturma olduğu tespitleri çok sayıda araştırmacı tarafından desteklenmektedir. Uzuner (1985), temellerin oturmasında zemin yüklemesini, yeraltı suyunun indirilmesini, daneli zeminlerde titreşim

olmasını, bitişik kazılarla zemin durumunun bozulmasını, yeraltı su akımlarıyla erozyon oluşmasını, temel elamanlarının tahribata uğramasını, don olmasını, ıslanma-kuruma olmasını, killi zeminlerde çabuk büyüyen ağaçların bulunmasını ve kimyasal olaylardan bir ya da bir kaçının bulunmasına bağlamaktadır. Hasar oluşturacak farklı oturmalara, zemin sıkışma özellikleri veya tabaka kalınlıklarının değişmesini, zeminde yer yer sert-yumuşak bölgelerin bulunmasını ve temel boyut ve derinliklerinin farklı olmasını sebep göstermektedir. Oluşması muhtemel hasarları ise mimari, fonksiyonel ve yapısal olarak sınıflandırmaktadır.

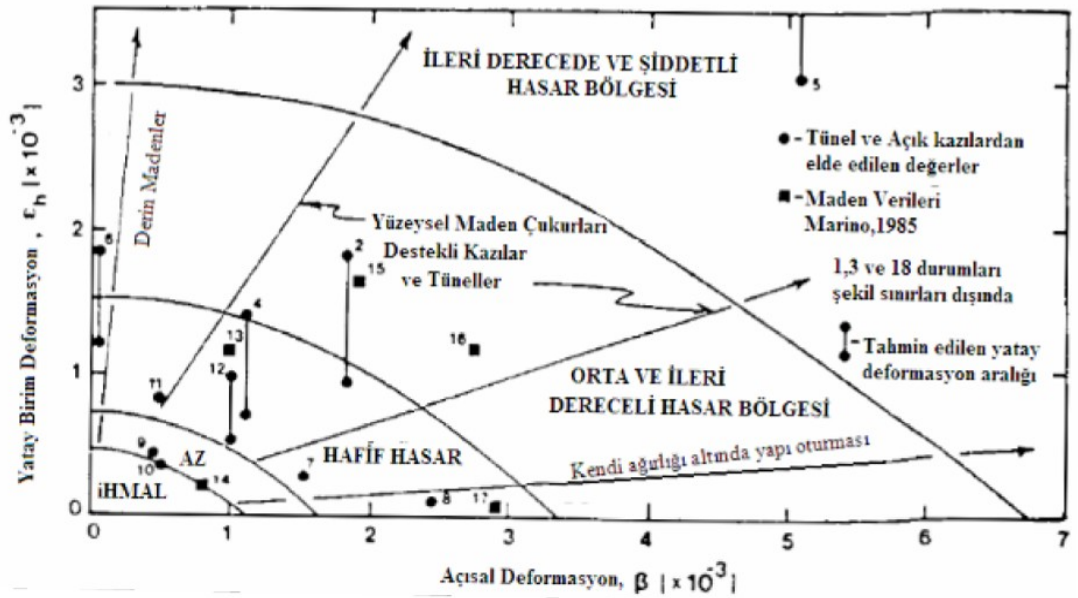
Oturmalar belirlendikten sonra genellikle idealize edilmiş yapıya direkt olarak uygulanır. Literatürde yapılan çalışmalarda, diğer yapı tipleri için de kritik durumlar söz konusu olsa da genellikle küçük çerçeve sistemler ve yığma yapılar ele alınmıştır. Bunun nedeni; oturmalarından meydana gelen çekme gerilmelerinin, yığma yapılarda daha belirgin ve kritik hasar durumuna neden olması ve bu ülkelerde açık kazı ve tünel çalışmalarının civarında daha çok bu tip yapıların mevcut olmasıdır. Zemin oturmasına maruz kalan bir yapıda gözlenen oturmalar ne kadar farklı oturma karakteristiği gösterirse üst yapıya negatif etkileri o derece daha olur. Genel yaklaşımda oturmaya maruz kalan yapılarda hasar sınırlandırıcı olarak çeşitli ölçülebilir parametreler kullanılmıştır. Bu hasar kriterlerinin açısal distorsiyon, β , ile tanımlanmıştır. [11]. Oturma tanımları birçok araştırmacı tarafından benzer şekilde yapılmıştır. [12-15]. Bu araştırmalarda geliştirilen tanımlamalar (Şekil 2.1) çeşitli mühendislik örgütlerince de kabul edilmiştir [16].



Şekil 2.1 Oturma Kavramlarının Gösterimi (Wahls, 198)

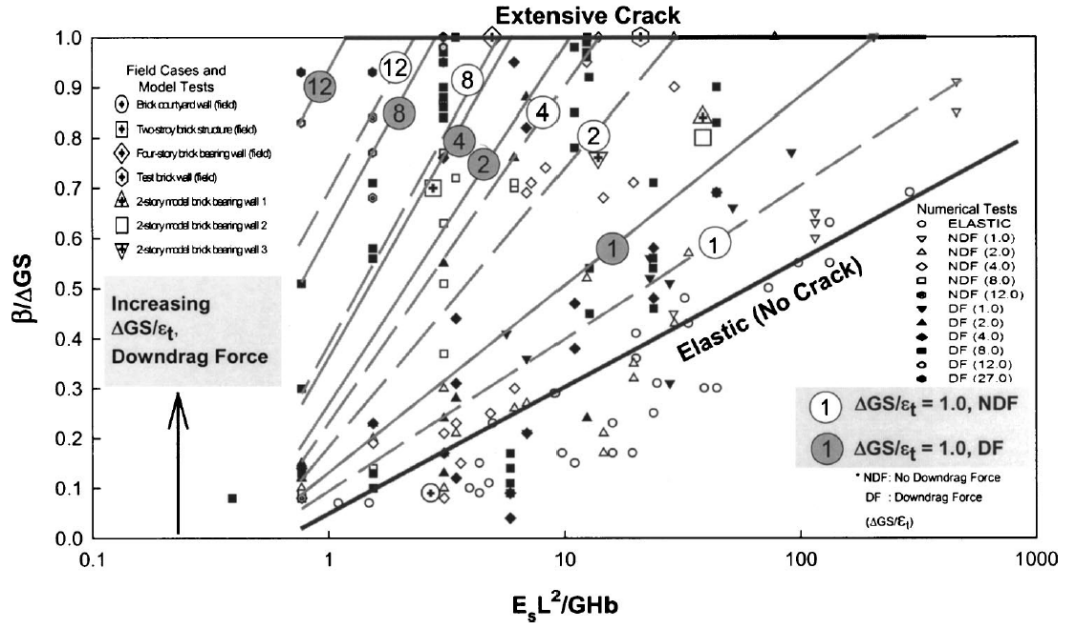
Şekil 2.1’de “ ρ MAKS” maksimum toplam oturma, “ ω ” rijit dönme, “ δ_{AB} ” A ile B noktaları arasındaki farklı oturma, “ l_{AB} ” iki nokta arasındaki uzaklık, “ β_{AB} ” A ile B noktası arasındaki açısız distorsiyon ($\beta_{AB} = \delta_{AB}/l_{AB} - \omega$), “ Δ ” rölatif şekil değıştirme için kullanılmıştır.

Ayrıca oturmadan dolayı hasar oluşan yapılarıdaki ölçümlerle, yatay şekil değıştirme değeri arasında ilişki kurulmuştur. [9] (Şekil 2.2) Maksimum çekme şekil değıştirmesi, eğilmeden dolayı oluşan birim şekil değıştirme ile yatay birim şekil değıştirmelerin bileşkesinden ortaya çıkar. Boscardin’in çalışması, tünel açılması sırasında Londra Waterloo İstasyonu’ndaki yapılarda hasar durumlarını araştırmak için kullanılmıştır. Çalışmada yığma yapılardaki yığma duvarlara saplanan kirişlerde zemin oturması sırasında meydana gelen etkiyi incelemiş ve binadaki açısız düzensizliklerin binada meydana gelen hasarlarda önemli bir etken olduğu, binanın geometrisinin ve zemin hareketlerinin etkileriyle oluşan kabul edilebilir kritik gerilme ve hasarları belirlenmiştir. [17]



Şekil 2.2 Hasar dağılımları [Boscardin ve Cording, 1989]

Ayrıca Moorak Son vd. kent içindeki açık kazıların yapılara olan etkilerinin incelemek için laboratuvar ortamında ölçekli modeller geliştirmiş ve bu modeller üzerinde fiziksel deneyler yapmışlardır. Yapılan fiziksel deneyleri ile elde ettikleri oturmalar sonucu, yapılarda oluşan hasar düzeylerini deneysel olarak tabloştırmışlardır. (Şekil 2.3)



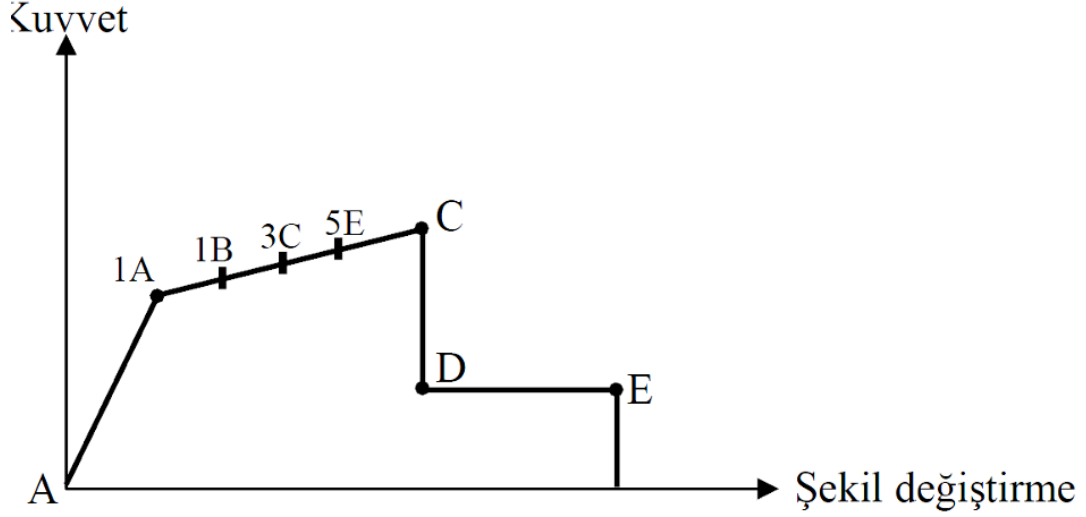
Şekil 2.3 Hasar dağılımları (Moorak Son)

3. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

3.1 Statik İtme Analizi

Yapılar için, sabit düşey yükler altında, yatay yüklerin kademeli artırılmasıyla yapılan doğrusal olmayan hesap yöntemine “Statik İtme Yöntemi” denir. Bu yöntem, binanın deprem esnasındaki davranışını daha gerçekçi olarak temsil ettiği için, hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasına imkân tanımaktadır. Statik itme yönteminde binanın tüm elemanlarının şekil değiştirme davranışları tanımlanır. Bu hesaplama yönteminde malzemenin elastiklik sınırları dışında kalan plastiklik kapasitesinden de yararlanılmaktadır.

Bu yöntemde, oluşturulan modeller küçük artımlarla ötelenmeye tabi tutulur. Her adımda yapıyı oluşturan elemanların davranış şekillerindeki değişim gözlenir. Bu değişimler, elemanın nihai taşıma kapasitesine erişmesi ile sona erer. Bu şekilde, yapı belirlenen yanal öteleme mesafesine erişinceye kadar ya da yapıyı teşkil eden elemanların, daha önceden tanımlanan göçme şekil değiştirmelerine ulaşıncaya kadar analiz devam ettirilir. Bina göçme durumuna geldiğinde analiz kesilir. Doğrusal olmayan artımsal analizde, belirli bir yük parametresinden sonra (adım adım ötelenmesiyle) sistemde yeteri kadar plastik mafsalların oluşmasıyla sistem mekanizma durumuna gelmektedir. Dolayısıyla sistemde ilk plastik mafsal oluşuncaya kadar sistem doğrusal-elastik davranış göstermektedir. Oluşan her plastik mafsallardaki şekil değiştirme sınır durumları (performans seviyeleri) için SAP2000, ETABS, DRAIN - 2DX, Ide-STATİK, STA4 gibi programlar tarafından adımlar oluşturulmaktadır ve bu programlar sayesinde analiz gerçekleştirilebilmektedir. Doğrusal olmayan analiz için ATC-40 ve FEMA-273’de önerilen plastik mafsal şekil değiştirme özellikleri Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Plastik mafsal şekil değiştirme özellikleri

“A ve 1A” noktaları arasında sistem elemanı doğrusal davranış gösterir.

- “1A” noktası; elastik davranışın sona erdiği plastik davranışın dolayısıyla da plastik şekil değiştirmelerin başladığı noktadır.

- “C” noktası, sistem elemanının taşıma gücü sınır durumunu belirtilmektedir.

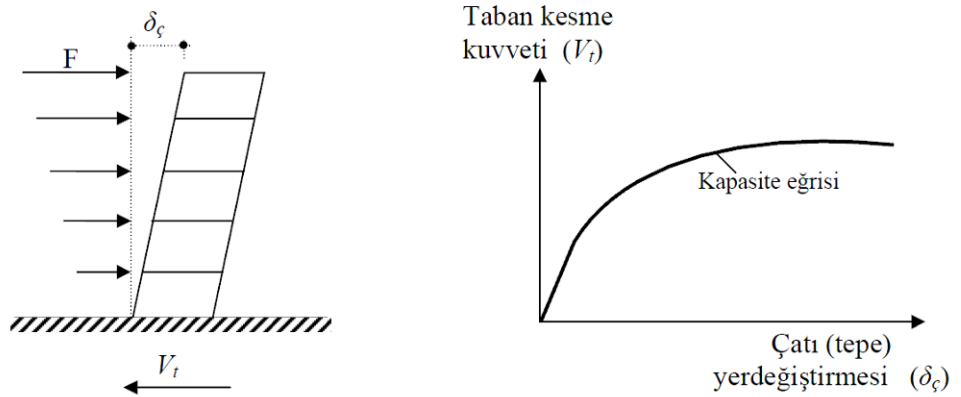
- “D” noktasından sonra şekil değiştirmelerin artması durumları için eleman kesiti küçük değerler almaktadır.

- “E” noktası ise, sistem elemanı taşıma gücünü tamamen kaybetmektedir.

Gelinen şekil değiştirme seviyesi itibariyle binada deprem sonrası oluşacak hasar seviyesi belirlenmektedir. Ayrıca, binanın hangi kesitlerinin daha fazla zorlanmaya maruz kaldığı görülüp ona göre güçlendirme yapılarak, güçlendirme maliyeti optimum bir seviyeye çekilerek daha ekonomik bir şekilde bina güvenliği öngörülen düzeye getirilir. Statik - itme yöntemi deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği ile binanın o depreme verebileceği cevabın (kapasite, kuvvet - yer değiştirme (pushover egrisi) kesiştiği noktadaki, diğer bir değişle performans noktasındaki durumunun incelenmesidir.

Binanın yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisini elde edebilmek için bina, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altından, malzeme ve

geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan artımsal itme analizine göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar bu değişimler gözlenir. Bu değişimler sonucunda, düşeyde her yük değeri için tepki kuvvetleri olan toplam taban kesme kuvvetleri (V_t) ve yatayda da çatı (tepe) yer değiştirmelerinin (δ_ζ) kesişen noktalarının geometrik olarak birleştirilmesiyle elde edilen eğri kapasite eğrisidir. Bu eğriye pushover eğrisi de denilmektedir. Şekil 3.2’de kapasite eğrisinin elde edilmesi görülmektedir.



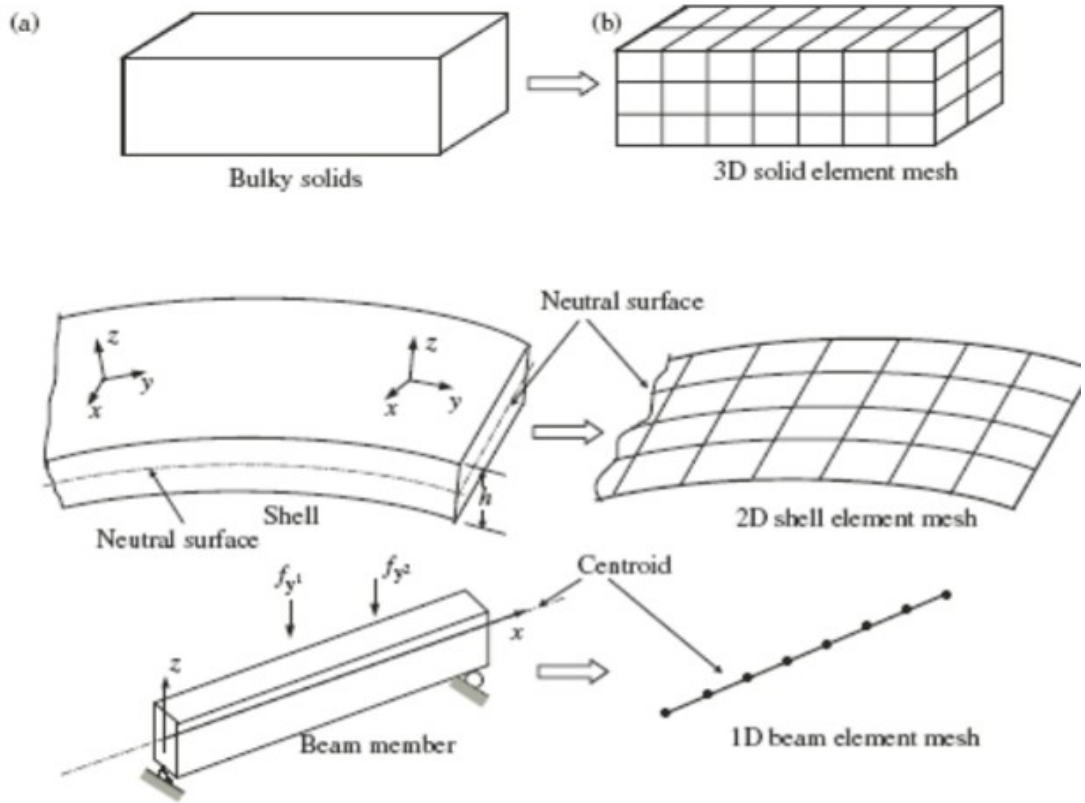
Şekil 3.2 Kapasite eğrisinin elde edilmesi

Günümüzde performansa dayalı tasarımda ATC-40 ve FEMA-356 (FEMA 273/274) olmak üzere birbirine yakın iki yaklaşım mevcuttur. ATC-40 sadece betonarme binaların incelenmesi, değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için olmasına karşılık, diğer tüm binalar için de kullanılabilir. FEMA - 356; nce FEMA - 273 ve FEMA - 274 olarak binaların deprem glendirmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak, verilen performans kavramına dayalı kavramların yeni proje oluşturulmasında da kullanılması mümkündür. ATC-40’daki kayıtların ilerisine giderek, FEMA-356 bütün binaları kapsamak üzere hazırlanmış olup, kabul kriterleri doğrusal olan ve olmayan çözümlene sonuçları için de verilmiştir. Bu belgede (FEMA-356) açıklanan ana kavram ATC-40 ‘da verilenin benzeridir.

3.2 SAP2000 Yazılımı

Günümüzde yapı sistemlerinin analizini gerçekleştirmek için birçok bilgisayar hazır paket yazılımı vardır. “SAP2000 - Structural Analysis Program” adlı ticari yazılım her tür yapının üç boyutlu doğrusal ve/veya doğrusal olmayan statik ve dinamik analizinde kullanılmaktadır. Şu an kullanımda olan sürümler önceki sürümlere göre daha kullanışlı olup yazılımın güncellenmesi ile ortaya çıkan yenilikler kullanıcıya daha güçlü grafik ara yüz, kullanıcı dostu menüler ve fare yardımı ile modelleme kolaylığı sunabilmektedir. SAP2000 programı inşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla kullanılan ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapan genel bir tasarım programıdır.

Sonlu Elemanlar Analizi fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3 Sonlu elemanlar yöntemi [18]

Sonlu Elemanlar Yöntemi lineer malzeme davranışını ele alabildiği gibi malzemenin lineer olmayan davranış problemlerini de ele alabilmemize olanak sağlamaktadır. Lineer olmayan malzeme davranışı lineer olmayan elastik veya elasto-plastik davranıştır. Zeminin elasto-plastik malzeme davranışında olduğu kabulü ile modellerde lineer olmayan zeminel davranış kabulü yapmış olmak, gerçeğe çok yakın çözümlerin elde edilmesini sağlamaktadır [18].

Sonlu elemanlar yöntemi, nümerik yaklaşımların genel özelliklerinin çoğunu göz önüne almasına ilave olarak bilgisayar yazılımları için en uygun formülasyona sahiptir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve doğrusal olmayan malzeme davranışı, homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlamaya müsaade etmesidir. Diğer yandan bu yöntem mühendisliğin çok geniş bir alanında (katı cisim mekaniği, termoelastite, hidromekanik, elektrik, yayılım gibi) sınır değer problemlerine uygulanabilmektedir. [19]

Yapı modelinin üç boyutlu modellenmesi, problemin analizi, boyutlandırma, kesit optimizasyonu ve gerek olduğu takdirde modellemede yapılacak değişiklikler olduğunda kullanıcı dostu bir ortam sağlamaktadır. SAP2000 Ver.14.0 ile yapının gerçek davranışına uygun olarak tüm yükleme tiplerinin ve yer değiştirmelerin görüntülenmesi de mümkündür.

Bu çalışmada tüm çözümler SAP2000 Ver.14.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

4. TÜNEL KAZISI SONUCU YÜZEY OTURMALARININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

4.1 Yüzey Oturmalarının Tahmini

Tünel açılmasından dolayı yapılarda hasar meydana getiren yüzey oturmaları pratikte ayrı işlemlerle tahmin edilir. İlk olarak tünel açılmasına bağlı olarak serbest zeminde oturma değerleri hesaplanır, daha sonra bu oturma değerleri bina modellerine uygulanır. [20] Tünel açıldıktan sonra, zemin konsolide oldukça oturmalar devam eder. Bununla birlikte tünel açılmasına bağlı olarak meydana gelen hasarın araştırılmasında, konsolidasyondan dolayı oluşan oturmalar genellikle ihmal edilir. [21]

Yüzey şekil değiştirme parametrelerinin tahmini için deneysel bağıntılar kullanılmıştır. Tünel kazısı sırasında zemin kaybından oluşan yüzey oturmasının profili hesaplamak için kabul görmüş en genel yöntem düşey yer değiştirmelerin enine kesitinin tahminidir. Bu da “Gauss Hata Fonksiyonu” olarak bilinen simetrik formülle ifade edilebilir. Meydana gelen oturmalar genellikle, tünel aksı doğrultusunda oluşan Gauss eğrisi ile ifade edilir [22].

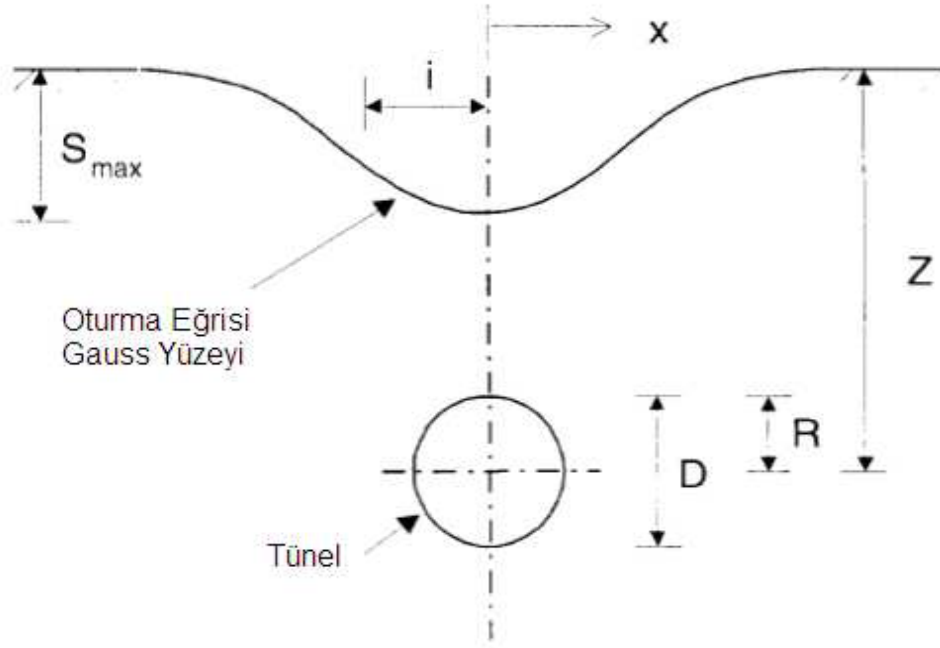
- Yüzey Oturma Eğrisi – Gauss Hata Fonksiyonu

$$S = S_{maks} \cdot e^{\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right)}$$

- Etki alanı : $3 i$

4.1

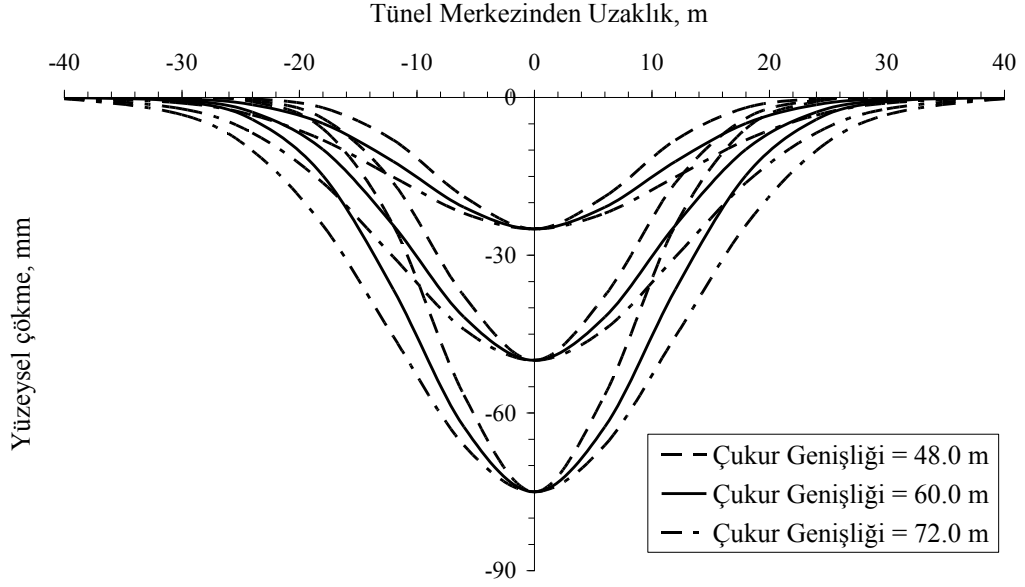
Bu eğrilerin tünel doğrultusunda entegre edilmesiyle oturma yüzeyi elde edilir. Tipik bir oturma eğrisi Sekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Tünel kazısı nedeniyle oluşan oturma eğrisi [20]

Burada S_{max} tünel aksı üzerinde yer alan maksimum oturma değeri, x aks üzerinden itibaren yanal mesafe değeridir. Oturma çukurunun genişliği, merkezden eğrinin büküm noktasına olan mesafesini belirten “i” parametresiyle belirlenir. Çukur genişlik ifadesi i, tünel açma metoduna bağlı olmayıp zemin durumuna bağlı olarak belirlenebilir. i parametresinin belirlenmesi için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur [23] ancak pratikte, $i = K \times Z$ şeklinde hesaplanabilir. Burada killi zeminler için $K^*=0,5$ ve kohezyonsuz zeminler için de $K^*=0,25$ alınmaktadır [24]

Bu çalışmada iki aşamalı bir hesap yöntemi kullanılmıştır. Birinci aşamada kullanılan tünel kazıları nedeniyle oluşan yüzey çökmelerinin oturma profili aşağıdaki deneysel eşitlikle hesaplanmış. Bu hesaplamalarda Erçelebi'nin İstanbul metro tünellerinin geçtiği yüzey şekil değiştirmelerinin deneysel çökme miktarları ile oluşturmuş olduğu deneysel tahminleri göz önüne alınarak analiz sayılarını makul bir seviyede tutabilmek için çukur genişliği 60.0 m olarak seçilmiş ve yine bu hesaplamalarda Tünel merkezindeki maximum çökme yani S_{max} çökme derinliği için yapılan deneysel tahminler 25, 50 ve 75 mm olarak yapılmıştır.



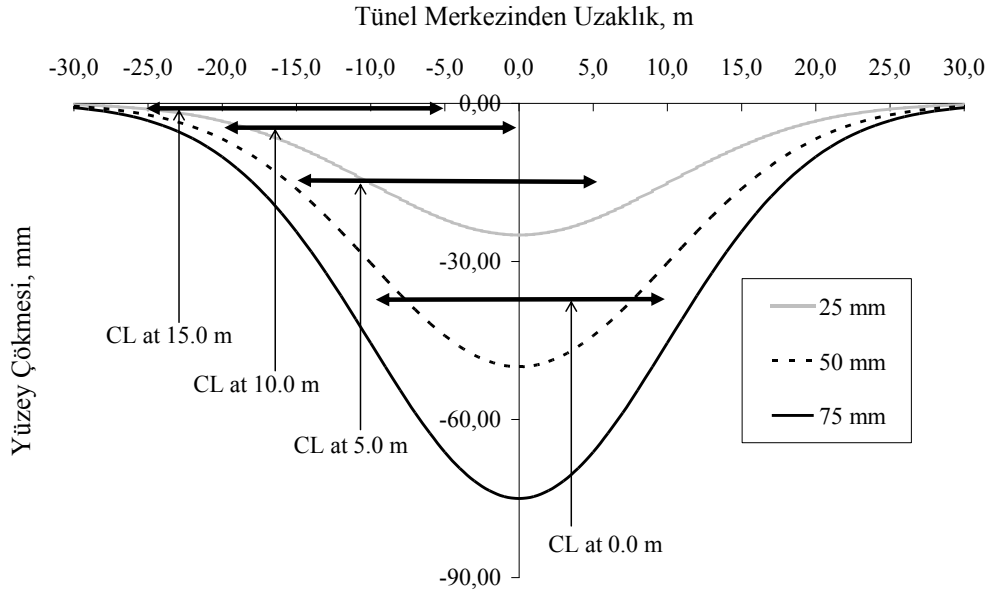
Şekil 4.2 Tünel kazısı nedeniyle oluşan oturma eğrisi

Yapılan bu tahminler ışığında eşitlikten yararlanarak aşağıdaki profiller elde edilmiştir. Söz konusu eşitlik, üzerinde yapı olmayan zeminler için türetilmesine rağmen kent içindeki yapılan tünel çalışmaları içinde uygun kabul edilmiş, kullanılan çökme değerleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. İkinci aşamada ise model yapılar belirlenmiş ve ilk aşamada elde edilen yüzey çökme miktarları yapılara uygulanmış ve statik itme analizi yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. Bu işlemler sırasında basit deneysel yöntemler ile kompleks yöntemler arasında uygun bir denge kurulmuştur.

Tablolarda; kullanılan 5.0, 6.0 ve 7.0 m giriş açıklıklı modellerin tekil temellerinin çökme eğrisi üzerindeki yerlerine göre çökme değerleri verilmiştir. Örneğin, 5.0 m açıklıklı bir yapının tünel merkezinde tekil temellerindeki çökme miktarları şekil de gösterildiği gibi tablo değerlerinden faydalanarak modellenmiştir. Ayrıca tablo değerleri modelin tünel merkezinden çökme eğrisi üzerinde 3 farklı konumlandırılma yapılmasında da kullanılmış her model 3 farklı çökme derinliğinin yanı sıra birer giriş açıklığı kaydırılarak 3 farklı şekilde çökme eğrisi üzerinde konumlandırılmış ve her konumdaki çökme eğrisi üzerindeki tekil temellerin çökme miktarları tablolarda hesaplanmış ve modellenmiştir.

Tablo 4.1 Tünel kazısı üzerindeki 5.0 m açıklıklı yapı için çökme değerleri

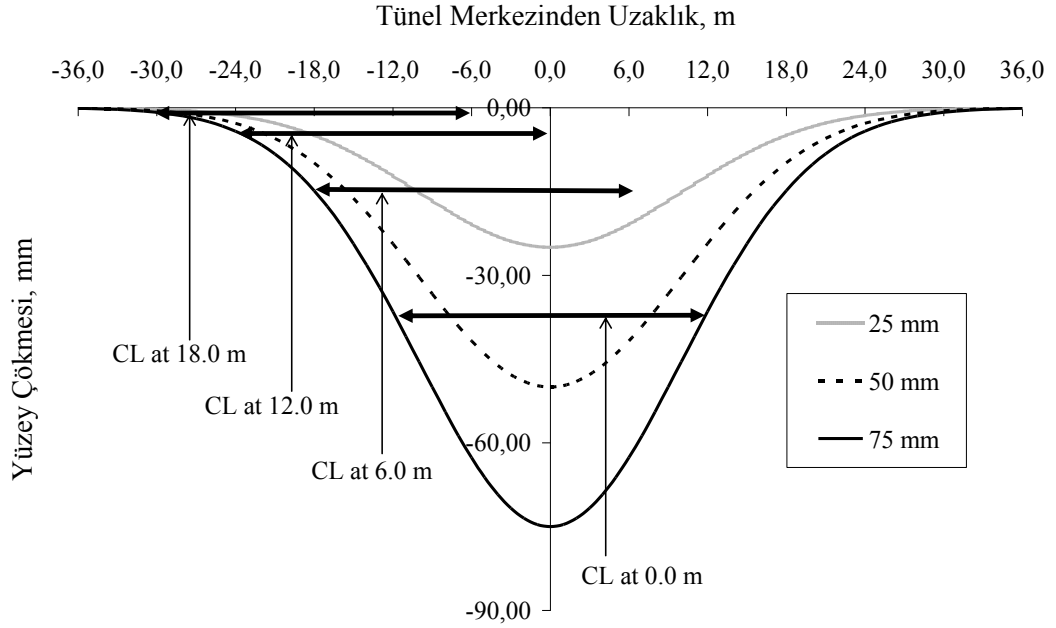
Tünel Çapı (m)	6,70		
	B		
Çukur Genişliği (m)	60		
Dönüm Noktası (m)	10,00		
Smax (mm)	25,00	50,00	75,00
Tünel Merkezinden Uzaklık (m)	Yüzey Çökmesi (mm)		
-50	0,00	0,00	0,00
-40	-0,01	-0,02	-0,03
-30	-0,28	-0,56	-0,83
-20	-3,38	-6,77	-10,15
-15	-8,12	-16,23	-24,35
-10	-15,16	-30,33	-45,49
-5	-22,06	-44,12	-66,19
0	-25,00	-50,00	-75,00
5	-22,06	-44,12	-66,19
10	-15,16	-30,33	-45,49
15	-8,12	-16,23	-24,35
20	-3,38	-6,77	-10,15
30	-0,28	-0,56	-0,83
40	-0,01	-0,02	-0,03
50	0,00	0,00	0,00



Şekil 4.3 Tünel kazısı üzerindeki 5.0 m açıklıklı yapı için çökme grafiği

Tablo 4.2 Tünel kazısı üzerindeki 6.0 m açıklıklı yapı için çökme değerleri

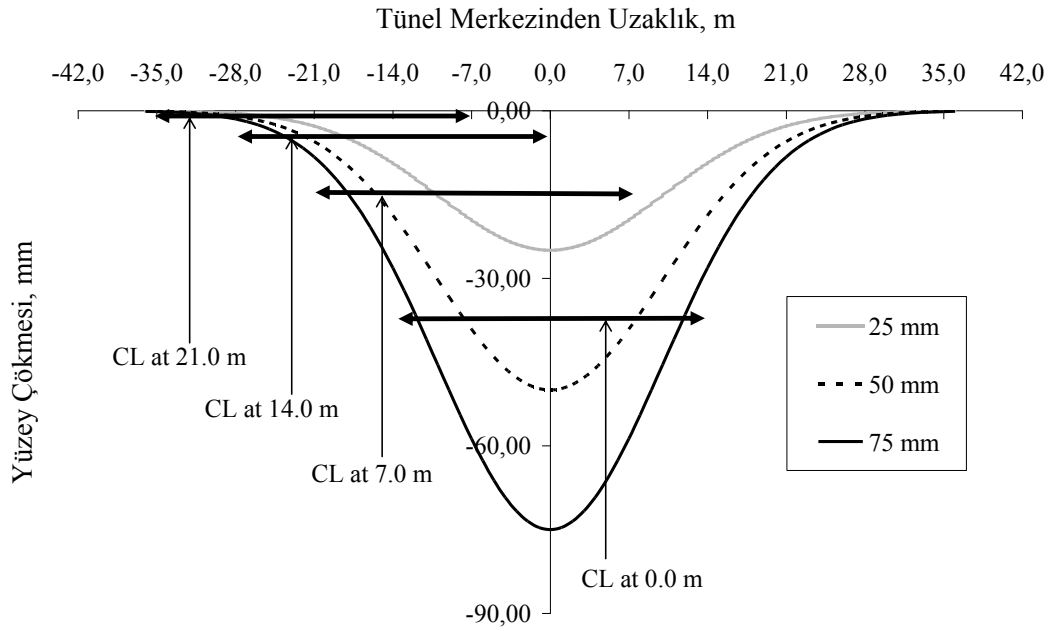
Tünel Çapı (m)	6,70		
	B		
Çukur Genişliği (m)	60		
Dönüm Noktası (m)	10,00		
Smax (mm)	25,00	50,00	75,00
Tünel Merkezinden Uzaklık (m)	Yüzey Çökmesi (mm)		
-50	0,00	0,00	0,00
-40	-0,01	-0,02	-0,03
-30	-0,28	-0,56	-0,83
-24	-1,40	-2,81	-4,21
-18	-4,95	-9,89	-14,84
-12	-12,17	-24,34	-36,51
-6	-20,88	-41,76	-62,65
0	-25,00	-50,00	-75,00
6	-20,88	-41,76	-62,65
12	-12,17	-24,34	-36,51
18	-4,95	-9,89	-14,84
24	-1,40	-2,81	-4,21
30	-0,28	-0,56	-0,83
40	-0,01	-0,02	-0,03
50	0,00	0,00	0,00



Şekil 4.4 Tünel kazısı üzerindeki 6.0 m açıklıklı yapı için çökme grafiği

Tablo 4.3 Tünel kazısı üzerindeki 7.0 m açıklıklı yapı için çökme değerleri

Tünel Çapı (m)	6,70		
		B	
Çukur Genişliği (m)	60		
Dönüm Noktası (m)	10,00		
Smax (mm)	25,00	50,00	75,00
Tünel Merkezinden Uzaklık (m)	Yüzey Çökmesi (mm)		
-50	0,00	0,00	0,00
-40	-0,01	-0,02	-0,03
-30	-0,28	-0,56	-0,83
-28	-0,50	-0,99	-1,49
-21	-2,76	-5,51	-8,27
-14	-9,38	-18,77	-28,15
-7	-19,57	-39,14	-58,70
0	-25,00	-50,00	-75,00
7	-19,57	-39,14	-58,70
14	-9,38	-18,77	-28,15
21	-2,76	-5,51	-8,27
28	-0,50	-0,99	-1,49
30	-0,28	-0,56	-0,83
40	-0,01	-0,02	-0,03
50	0,00	0,00	0,00

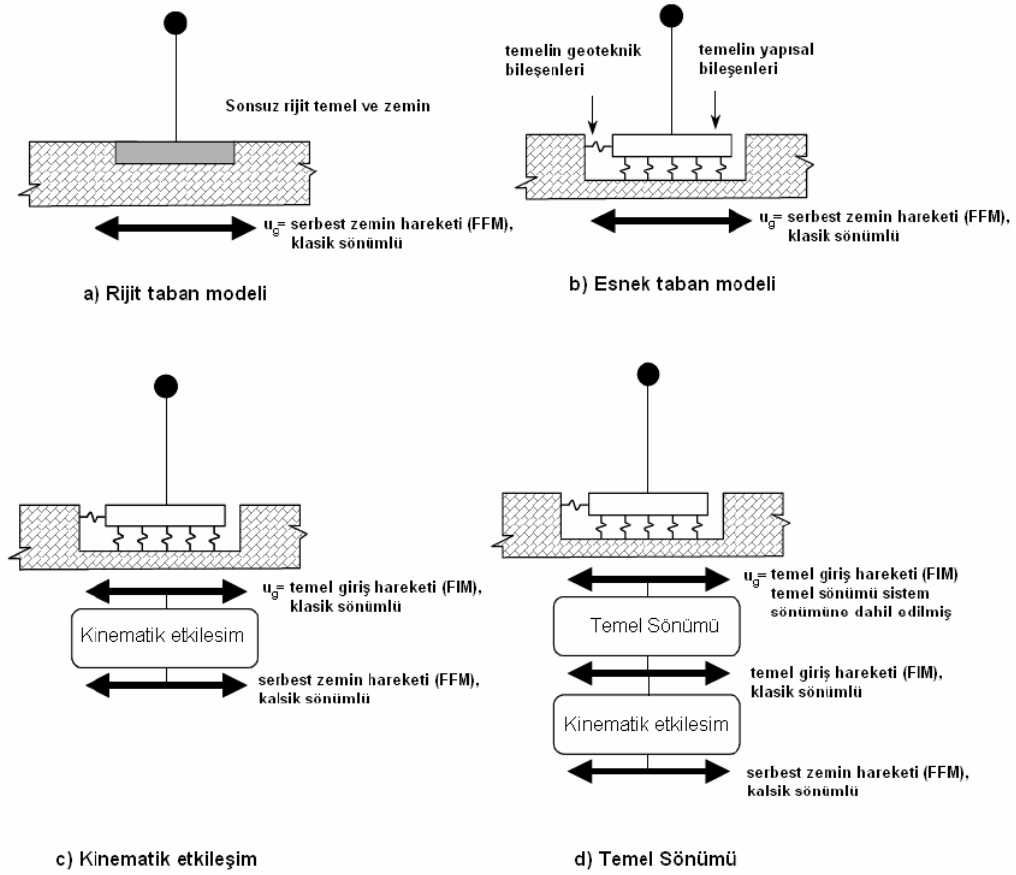


Şekil 4.5 Tünel kazısı üzerindeki 7.0 m açıklıklı yapı için çökme grafiği

4.2 Zemin Yapı Etkileşimi

Serbest zemin hareketi ile harekete geçen yapısal modellerin rijit temellere oturduğu varsayımı şekil 4.6a 'da gösterilmiştir. Serbest zemin hareketi, etrafında hiçbir yapı olmadığı varsayılan, yüzeydeki tek bir noktanın teorik hareket etmesidir. Bu modele ankastre model denilmektedir. Ankastre model kabulü birçok yapı için uygun değildir. Yanal direnci sağlamak için kullanılan rijit dikey elemanlar (perdeler vs.) içeren yapısal sistemler, ankastre sistem kabulü ile ihmal edilen tabandaki küçük dönmelere ve çökmelere kısmen hassas olabilirler. Nispeten esnek olan elemanlar (moment çubukları) genellikle zemin-yapı etkileşiminden önemli ölçüde etkilenmezler. Şekil 4.6b 'de yapısal modelle doğrudan birleşen esnek temel gösterilmiştir. ATC-40 ve FEMA356'da, yapısal modelin elastik olmayan analizinde temelin esneklik ve dayanımının belirlenmesi için şekil 4.6b'de yer alan yayların özelliklerinin tanımlanması hakkındaki koşullar yer almaktadır. Bu koşullarda serbest zemin hareketi olarak, klasik ilk değer olan %5 sönümlü sismik talebi kullanılır. Bu kabul temelin yapı ve zemin bileşenlerinin her ikisinin de modellenmesi açısından uygundur. Bütün yapısal sistemin tepkisi, temel sisteminin yapısal ve geoteknik parçalarında şekil değiştirmeler içerir (elastik ve elastik olmayan). Bu şekil değiştirmeler bazen bir eylemsiz zemin-yapı etkileşiminin etkisi olarak adlandırılır. Modellemedeki bu gelişmeler ankastre model sonuçlarıyla kayda değer farklılıklar gösterebilir ve yapının olası tepkisinin gösterimi için daha uygundur. Bütün bu etkiler, olası yapısal davranışın ve performansın çok daha gerçekçi bir değerlendirmesiyle sonuçlanır. Şekil 4.6c'deki şekilde zemin-yapı etkileşimi, yapıya etki eden yer hareketinin karakterinde ve şiddetinde bir filtrelemeye neden olur. Ve zeminin üzerinde veya içinde yer alan nispeten rijit temel elemanları, temel hareketinin serbest zemin hareketinden ayrılmasına neden olur. Bu etkiler yaygın olarak, taban alan ortalaması ve zemine gömülü olma etkileri olarak tanımlanır. Taban alan ortalaması, yapı içinde veya temel ayağının altında her noktada ani hareketin aynı olmadığı kabulüne dayanır. Bu uzaysal çeşitli hareketler karşısında, yapı ve temelin yerleşimi, serbest zemin hareketinden dolayı oluşan bütün hareketlerin yerel maksimumundan daha küçük olan bir ortalama etki üretir. Gömülü olma etkisi, zemin içindeki derinlikten dolayı yer hareketindeki indirgemedir. Taban alan ortalaması ve zemine gömülü olma etkisi, temel seviyesindeki hareketin

karakteridirler Bu etkiler serbest zemin hareketinin yüksek frekanslı (kısa periyotlu) bileşenlerine uygulanan bir filtrelemedir. Bu etkilerin kısa periyotlu binalar için yapı tepkisi üzerindeki etkisi büyük olacaktır.



Şekil 4.6 Temel Modeli Kabulleri

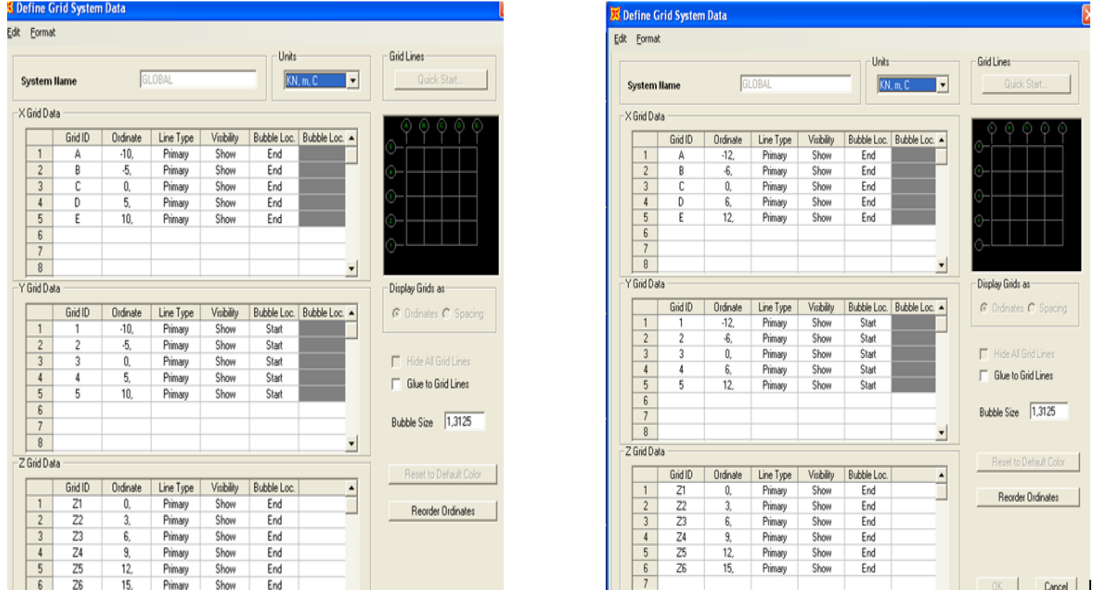
Şekil 4.6d 'de temel esnekliğine ek olarak yapı zemin etkileşim ataletinin bir başka sonucu olan temel sönüm etkileri gösterilmiştir. Temel sönümü, temel ve zeminin görelî hareketi sonucu ortaya çıkar. Bu zeminin histeritik sönümü ve temelden uzaklaşan enerji radyasyonu ile alakalıdır.

4.3 Yapısal Analiz Modelleri

4.3.1 Modelin Oluşturulması

Yapının geometrik olarak tanımlanabilmesi için akslar ve kat yükseklikleri belirlenmiştir. Yapısal analiz modeli seçilirken Türkiye'deki ve İstanbul'daki yapı

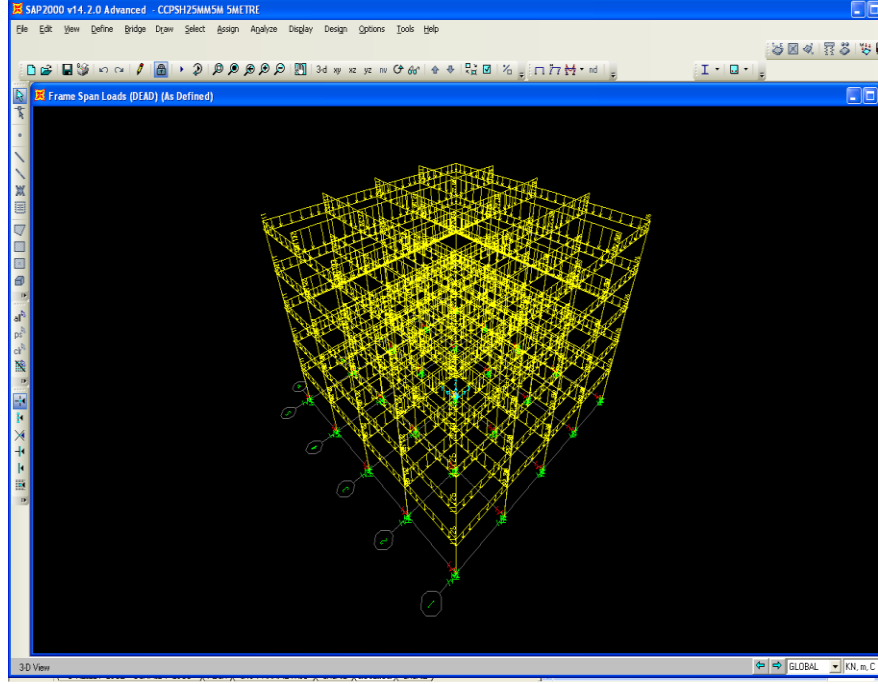
stoğunun büyük bir bölümünü temsil eden 5 katlı her iki yönde de 4 açıklıklı 5.0, 6.0 ve 7.0 m kiriş açıklıklarına sahip olmak üzere 3 farklı yapı modeli geliştirilmiştir. Binaların kat yükseklikleri 3.0 m alınmıştır (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 Aks sisteminin SAP2000 programında oluşturulması

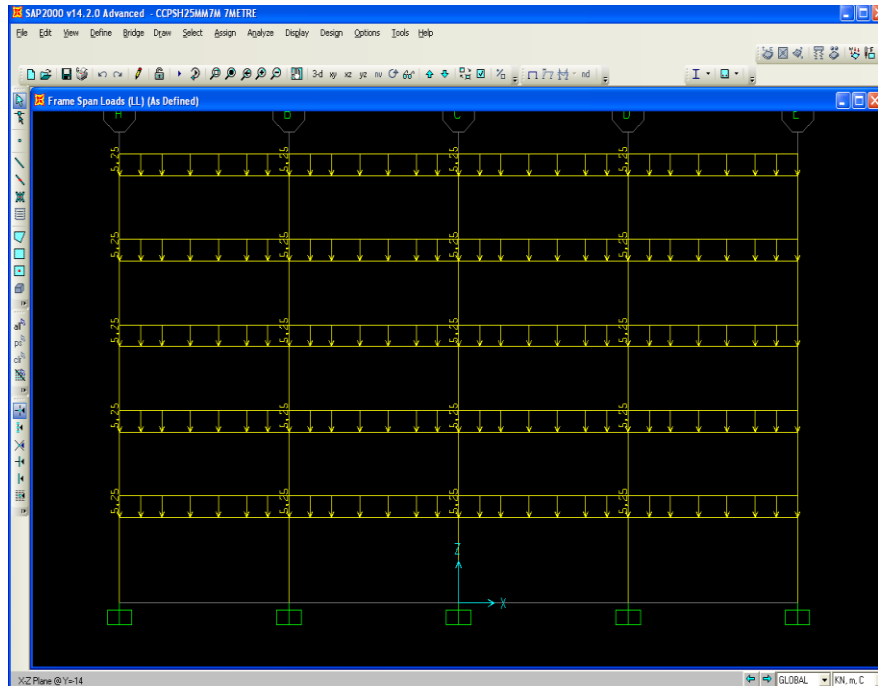
4.4 Yapısal Yükleme

Modellerde kullanılan canlı yük $Q = 3.5 \text{ KN/m}^2$, ölü yük ise $G = 4.0 \text{ KN/m}^2$ uygulanmış ayrıca modelde perde duvar ve döşeme kullanılmamış binaların bu yapısal olmayan yüklerini telafi etmek için ek bir ölü yük olarak $G = 5 \text{ KN/m}^2$ yük uygulanmıştır.



Şekil 4.8 5.0 m açıklıktaki yapıya uygulanan ölü yük 3 boyutlu gösterim

5.0 m açıklıktaki yapıya uygulanan ölü yük 3 boyutlu gösterim şekil 4.8 deki gibidir. Ayrıca 7.0 m açıklıktaki yapıya uygulanan hareketli yük şekil 4.9 da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 7.0 m açıklıktaki yapıya uygulanan hareketli yük

4.4.1 Malzeme Sınıfı Ve Kesit Tanımlamaları

Yapının 2007 deprem yönetmeliğine göre 1. derece deprem bölgesinde olduğu varsayılarak etkin yer ivmesi kat sayısı $A_0 = 0.4$ kullanılmıştır. Yine yönetmelikteki Z3 zemin cinsi kabul edilmiş ve spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B sırasıyla 0.15 ve 0.60 olarak kullanılmıştır. Betonarme tasarımı için ise Türkiye deki tipik konut ve ticari yapılarda kullanılan TS500 - Betonarme Yapıların Yapım ve Tasarım kuralları başlıklı Türk standardına göre çerçeve elemanlar için beton sınıfı için $f_c=25$ Mpa ve çelik sınıfı için $f_y =420$ Mpa kullanılmıştır. Şekil 4.10 da modelde kullanılan beton özellikleri verilmiştir.

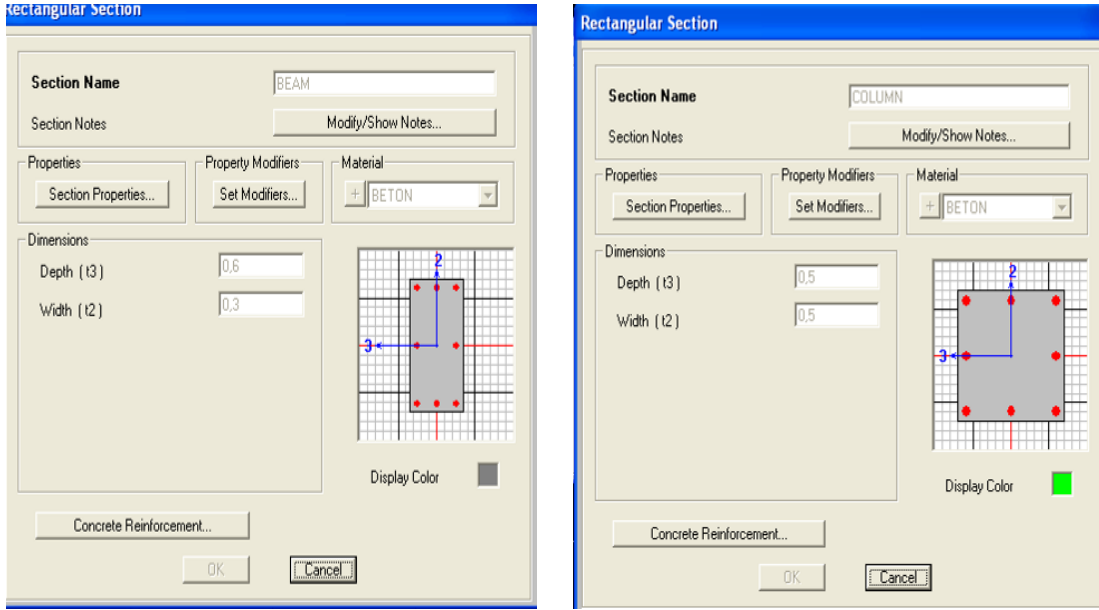
The image shows a software dialog box titled "Material Property Data". It is divided into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color is "BETON" (with a blue color swatch). Material Type is "Concrete". Material Notes has a "Modify/Show Notes..." button.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume is "25". Mass per Unit Volume is "2.5493". Units are set to "KN, m, C".
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E is "29990000". Poisson's Ratio, U is "0.3". Coefficient of Thermal Expansion, A is "1.170E-05". Shear Modulus, G is "11534615".
- Other Properties for Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength, f'c is "25000". There is a checkbox for "Lightweight Concrete" which is unchecked. Below it is a field for "Shear Strength Reduction Factor" which is empty.

At the bottom of the dialog, there is a checkbox for "Switch To Advanced Property Display" which is unchecked, and "OK" and "Cancel" buttons.

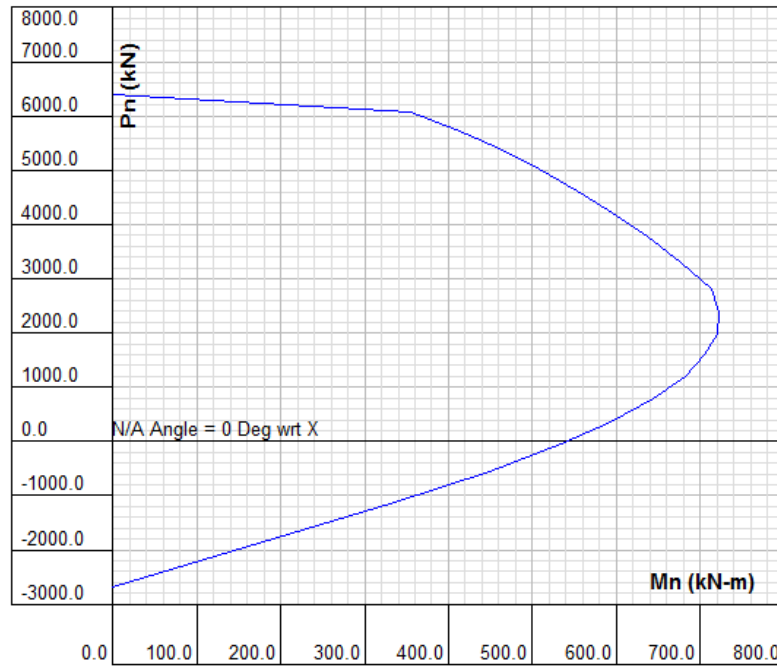
Şekil 4.10 Modelde kullanılan beton özellikleri

Bu varsayımlara göre 3 modeli de kapsayacak şekilde kolon ebatları 500x500mm olarak kiriş ebatları ise 300x600mm olarak seçilmiş ve modele uygulanmıştır. (Şekil 4.11)



Şekil 4.11 Modelde kullanılan kolon ve kiriş ebatları

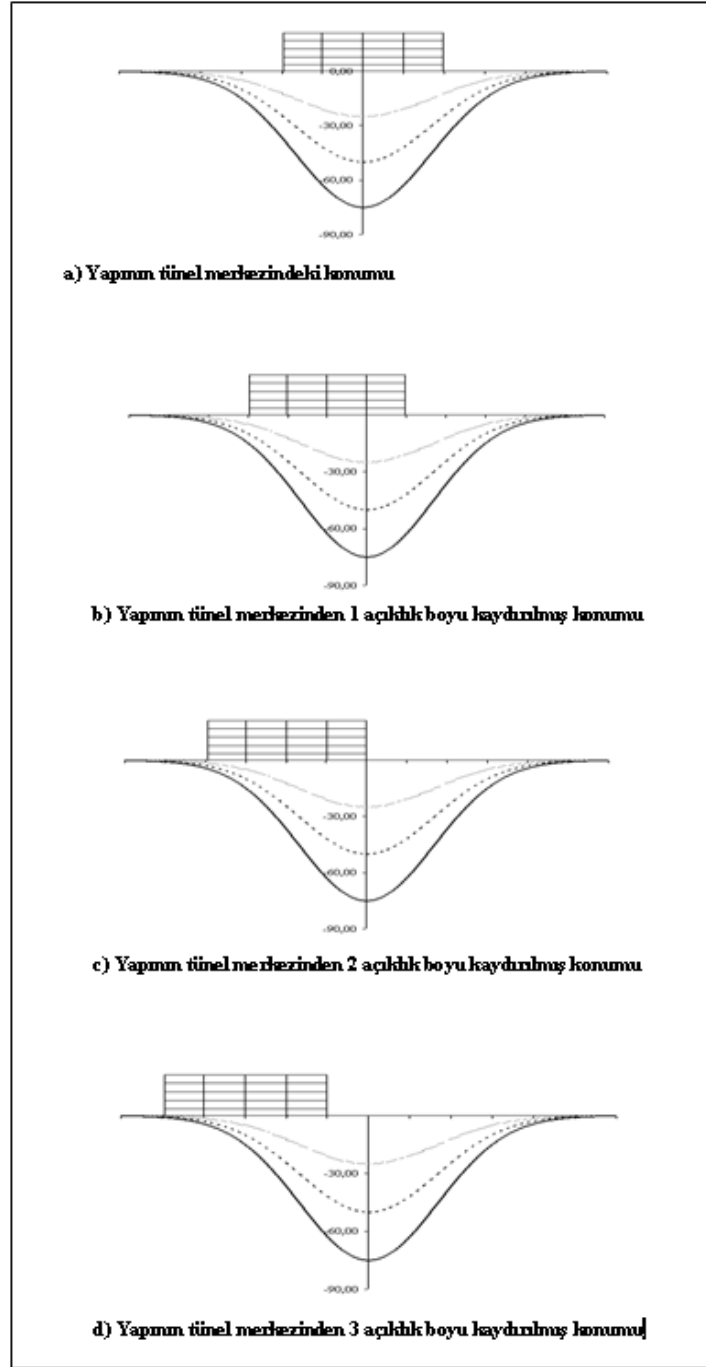
Kolonların eksenel yük moment etkileşim diyagramı şekil 4.20 de gösterilmiş olup Analizde kesit alanı $A_c=2500 \text{ cm}^2$ alınmıştır.



Şekil 4.12 Kolonların eksenel yük moment etkileşim diyagramı

4.4.2 Yüzey Oturmalarının Programa Tanımlanması

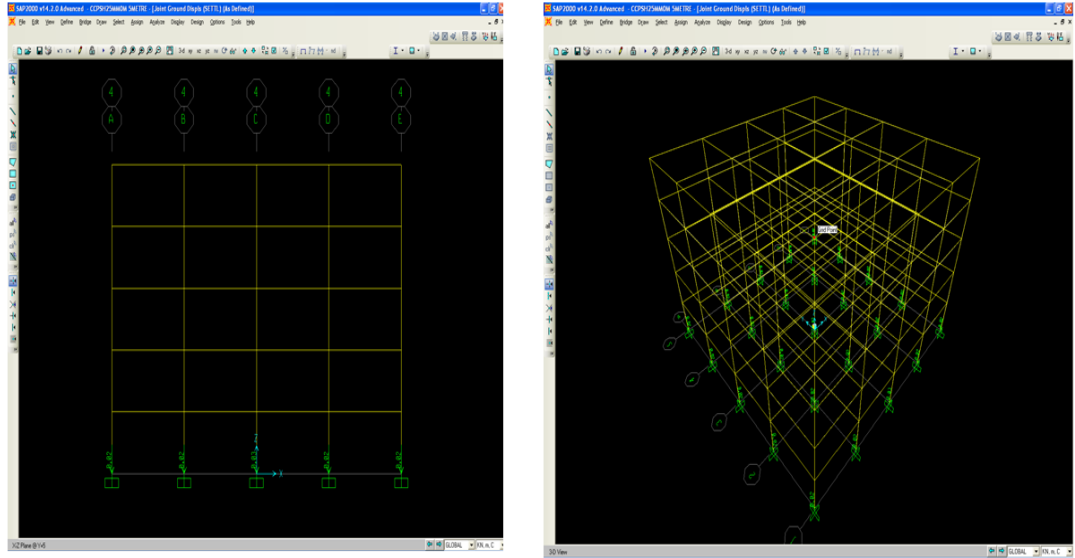
5.0, 6.0 ve 7.0 m kiriş açıklıklı yapılar 0, 25, 50 ve 75 mm azami çökme derinliği olan 3 farklı çökme eğrisi ve çökmenin olmadığı normal zemin üzerinde modellenmiş ve 3 farklı çökme eğrisi üzerinde her bir model birer açıklık kaydırma şartıyla 3 defa kaydırılarak yerleştirilmiştir. Toplam 36 adet farklı model tasarlanarak yapılmıştır. (Şekil 4.13)



Şekil 4.13 Yapının tünel üzerindeki konumu

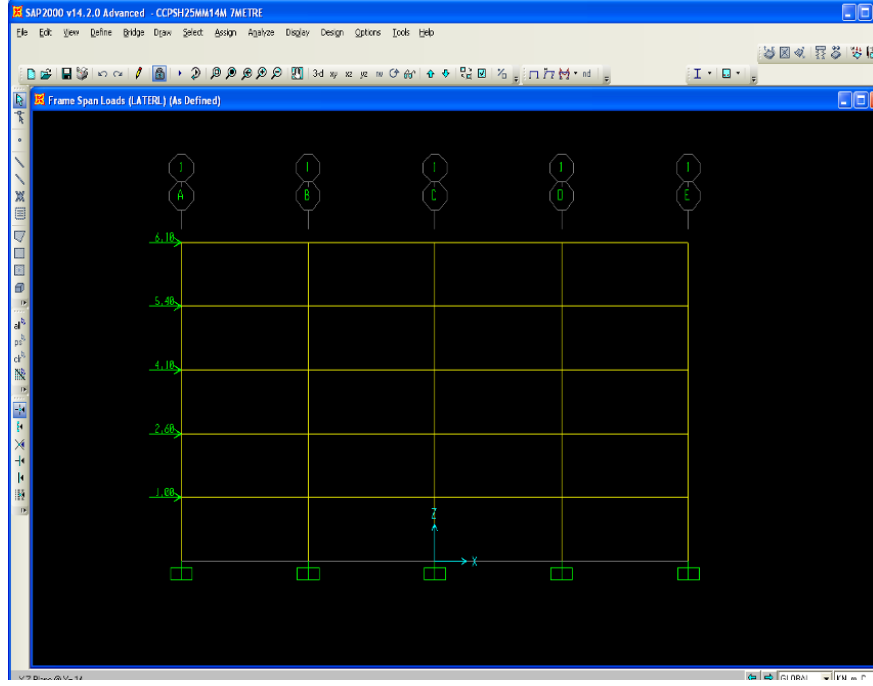
Yapının tünel merkezinde 25, 50 ve 75 mm çökme eğrileri üzerindeki konumu Şekil 4.13a da. Yapının tünel merkezinden 1 açıklık boyu kaydırılması ile 25, 50 ve 75mm çökme eğrileri üzerindeki konumu şekil 4.13b de ayrıca yapının tünel merkezinden 2 ve 3 açıklık boyu kaydırılması ile oluşan tünel üzerindeki konumları şekil 4.13c-4.13d de gösterilmiştir.

Tüm bu yapısal tasarımlar yapıldıktan sonra bölüm 4.1 de hesaplanan ve tablolarda gösterilen çökme eğrisi üzerinde bulunan tekil temellerdeki çökme miktarı yapıların tünel merkezinden uzaklıklarına göre programa veri olarak girilmiştir. (Şekil 4.14)



Şekil 4.14 Çökme miktarı yapıların tünel merkezinden uzaklıklarına göre programa veri olarak girilmesi

3 farklı çökme eğrisi üzerinde her bir model birer açıklık kaydırma şartıyla 3 defa kaydırılarak yerleştirilmiştir. Toplam 36 adet farklı model tasarlanarak statik itme analizi yöntemi ile çözümlene yapılmıştır.

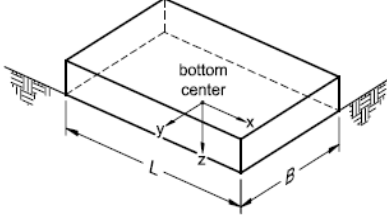
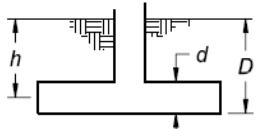


Şekil 4.15 Statik itme analizi için modele uygulanan yükler

Statik itme analizi bölüm 3.2 de ayrıntılı biçimde anlatılmıştır. Bu analiz için yapıya uygulanan yatay yükler şekil 4.15 de gösterildiği gibi modele uygulanmıştır.

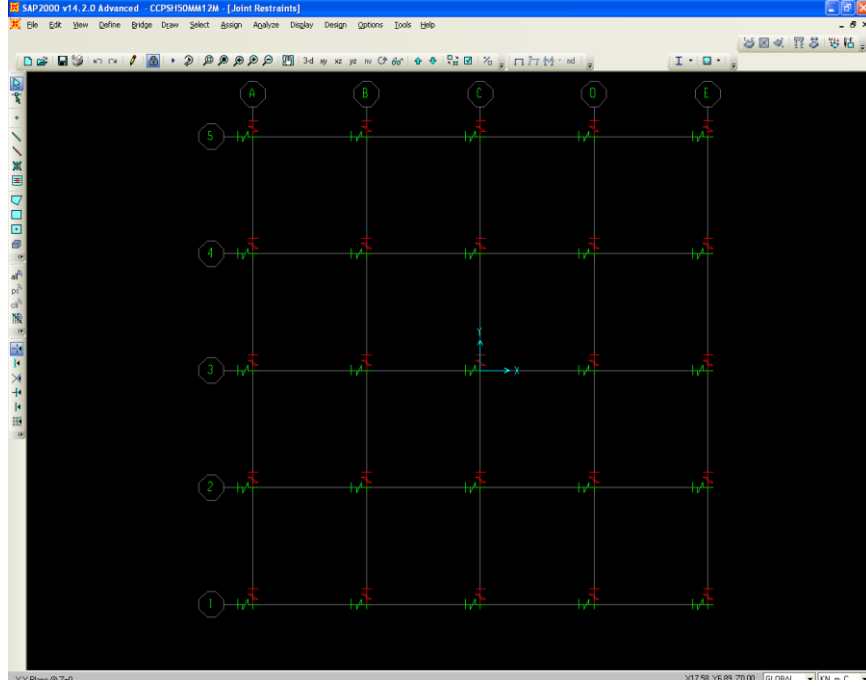
4.4.3 Zemin - Yapı Etkileşimli Çözüm

Toplam 36 adet modelde kullanılan tekil temelerde rijit taban modeli temeller kullanılmıştır bunun yanında yapı ile zemin etkileşimini daha doğru modellemek ve gerçeğe daha yakın sonuçlar alabilmek için yapılan 36 modele ayrı yeten esnek taban modeli uygulanmış böylece toplam model sayısı 72 adet olmuştur. Kullanılan esnek zemin modelinde Zemin yapı etkileşimi, yapının şekil değiştirmesinin zemin gerilmelerini ve zeminin şekil değiştirmesinin da yapı iç kuvvetlerini etkilemektedir. Bölüm 4.2 de zemin yapı etkileşiminde esnek zemin modeli ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. Bu etkileşimi yansıtmak için ise, kolon altlarına elastik yay tanımlaması yapılmış ve Elastik yaylar ilgili kolonun temele bağlanan düğüm noktasında tanımlanmıştır. Yay katsayıların nasıl hesaplanacağına ilişkin formüller “FEMA - 356” (Şekil 4.16) yönetmeliğinde bulunmaktadır.

Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$	 <p>bottom center</p> <p>Orient axes such that $L \geq B$</p>
Translation along y-axis	$K_{y, sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z, sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rocking about x-axis	$K_{xx, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rocking about y-axis	$K_{yy, sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$	
Torsion about z-axis	$K_{zz, sur} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$	
Degree of Freedom	Correction Factor for Embedment	Note
Translation along x-axis	$\beta_x = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$	 <p>d = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height)</p> <p>h = depth to centroid of effective sidewall contact</p> <p>For each degree of freedom, calculate $K_{emb} = \beta K_{sur}$</p>
Translation along y-axis	$\beta_y = \beta_x$	
Translation along z-axis	$\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL} \right)^{2/3} \right]$	
Rocking about x-axis	$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$	
Rocking about y-axis	$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$	
Torsion about z-axis	$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9}$	

Şekil 4.16 FEMA - 356 yay katsayıları eşitlikleri

Yay katsayıların hesaplanması için formüllerde kullanılan B ve L değerleri İstanbul'daki yapı stoğunu temsil etmesi amacıyla $B=L = 2.4$ m kabul edilmiştir. Ayrıca daha önceki bölümlerde bahsedilen İstanbul'un zemin koşullarını temsil eden makul ν hesabında kum için 0.3 için 0.45 katsayıları olduğu göz önüne alınarak, zemin kil kum arasında kabul edilmiş $\nu=0.35$ alınmıştır. Kayma modülü G için ise 100000 kPa kullanılmıştır.



Şekil 4.17 Modelde uygulanan yay noktaları

Böylece temeldeki 6 hareketten 3'ü sabit 3'ü de yay olacak şekilde programa tanımlanmıştır. Yay tanımlamaları şekil 4.17 de gösterildiği gibi modellere uygulanmıştır. Böylece daha önce oluşturduğumuz 36 farklı model 72 modele yükselmiş olup yay etkisi de çalışmada parametre olarak kullanılmaktadır.

5. ANALİZ VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Önceki bölümlerde de tarif edildiği üzere 60.0 m genişliğindeki oturma çukuru analiz için seçilmiş olup; 5 katlı 3 farklı giriş açıklığında tanımlanan (5.0m 6.0m ve 7.0m) yapılar 4 farklı noktada konumlandırılmıştır. Bu 4 farklı konumdaki oturular hesaplanmış olup konumlandırma şekil 4.13 de gösterilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi yapılan analizler 4 farklı parametreye göre değerlendirilmiştir. Birinci parametre yapıların tünel merkezine göre konumları ikinci parametre tünellerde meydana gelen maksimum çökme derinliği, üçüncü parametre yapıların giriş açıklıkları, dördüncü parametre ise yapı-zemin etkileşiminde kullanılan yaylar olarak belirlenmiştir

Öncelikle ilk üç parametre birbirleri arasında kıyaslanarak sonuçlar tartışılmıştır. Daha sonra yapılan kıyaslamalara dördüncü parametre olan yaylı modeller eklenerek modellerdeki yayların etkileri değerlendirilmiştir.

Kullanılan birinci parametrede yapıların konumlandırıldığı ilk pozisyonlar (şekil 4.2 CL=0,0 m) çukurun merkezindedir. Yapılar 3'er kez ötelenerek (5.0 m giriş açıklıklı yapı için 5.0, 10.0, ve 15.0 m, 6.0m giriş açıklıklı yapı için 6.0 m - 12.0 m - 18.0 m, 7.0 m giriş açıklıklı yapı için 7.0m-14.0m-21.0m) merkezdeki konumları ile birlikte her yapı için 4 ayrı analiz konumu elde edilmiştir. Bu bölümde yapının tünel üzerindeki konumları 1. konumu, 2. konumu, 3. konumu ve 4.konumu diye söz edilecektir. Her konum için 25mm 50mm ve 75mm çökme derinliği ikinci parametre olarak hesaba katılmış, üçüncü parametrenin katılmasıyla 36 modelde çözümleme yapılmıştır. Bu çözümlere dördüncü parametrenin eklenmesiyle model sayısı 72

ye yükselmiştir. Her yapı için belirlenen dört konumun çukurdaki en uygun konumlar olduğu kabul edilmiştir.

Birinci konumda yapı tünel merkezinde olduğundan U şekline benzer simetrik bir oturma profili ortaya çıkmıştır. İkinci konumda ise oturma profili yine U şeklinde ki profile benzer olup bir tarafından çarpıklığa sahiptir. Üçüncü konum bir tür kayma şeklindeki çökme profili olarak kabul edilebilir. Dördüncü (son) konum ise üçüncü konuma benzemekle birlikte açık kazılardaki çökme tipine uymaktadır.

Belirtilen bu parametrelere göre modellenen yapılar statik nonlineer pushover analizi ile ayrı ayrı analiz edilmiş ve yapının kapasite eğrisi elde edilmiştir. Yapının kapasite eğrisini elde etmek için daha önceki statik itme analizi başlığı altında belirttiğimiz gibi yapı, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşmaya kadar izlenerek her yük değeri için toplam taban kesme kuvveti (VT) ve buna karşılık gelen en üst kat yatay yer değiştirmesi (δ_{max}) (tepe yer değiştirmesi) belirlenmiştir. Sonuç bu değerler tablolastırılarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Analizler yapılırken model sayısının fazla olması sebebiyle karışıklığa mahal vermemek açısından bazı kodlamalar kullanılmıştır. Kodlamada maksimum çökme derinliği yapının tünel merkezine uzaklığı yapının aks açıklığı ve zemindeki yay durumu parametrelerini temsil eden bir takım kısaltmalar kullanılmıştır.

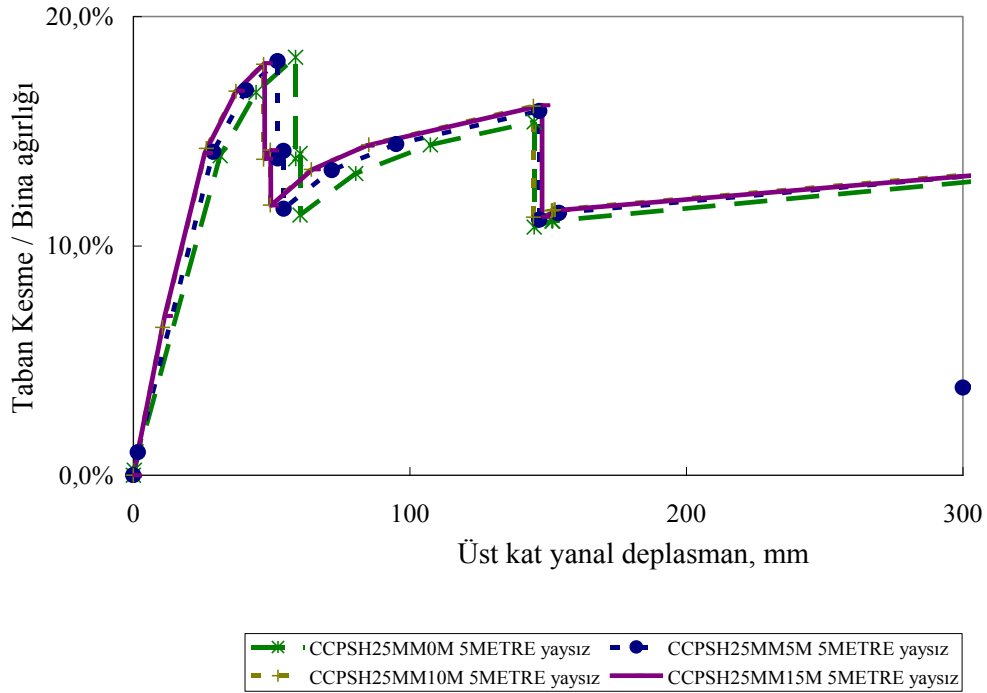
Tablo 5.1 grafiklerde kullanılan kodlamalar

CCPSH	25MM	0M	5MERTE	YAYSIZ
KODLAMA	MAKSİMUM ÇÖKME DERİNLİĞİ	YAPININ TÜNEL MERKEZİNE UZAKLIĞI	YAPININ AKS AÇIKLIĞI	YAPININ TEMELİNDEKİ YAY DURUMU (BELİRTİLMİYENLERDE YAY MEVCUT)

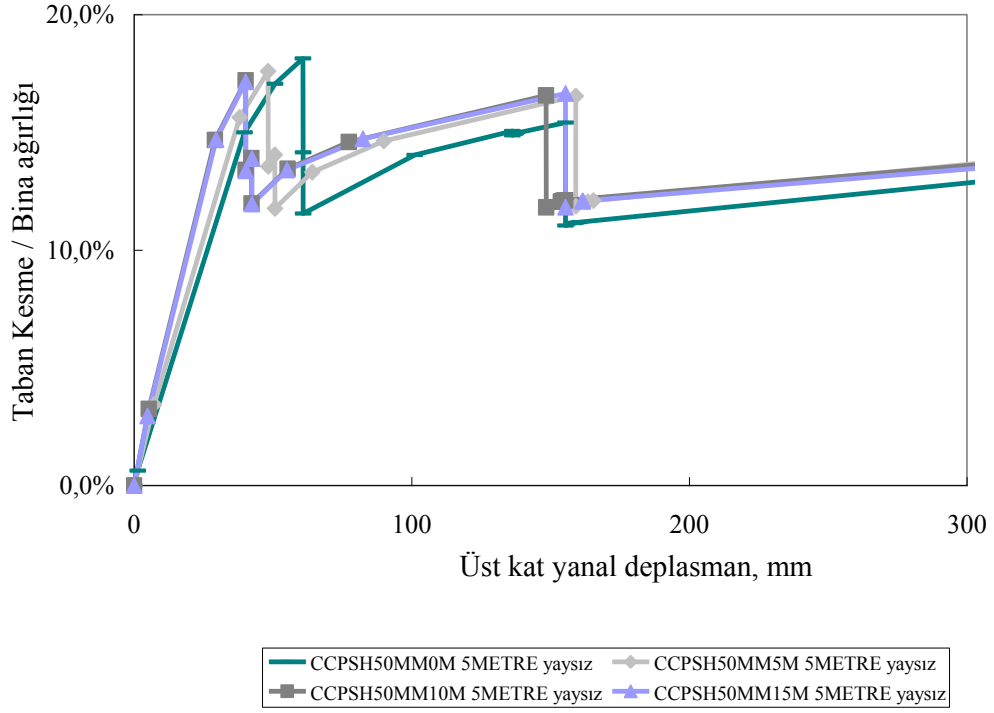
Grafikler elde edilirken kullanılan kodlama yöntemi yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. (Tablo5.1)

5.1 Dayanımın Tünel Aksı Üzerindeki Konumlara Değerlendirilmesi

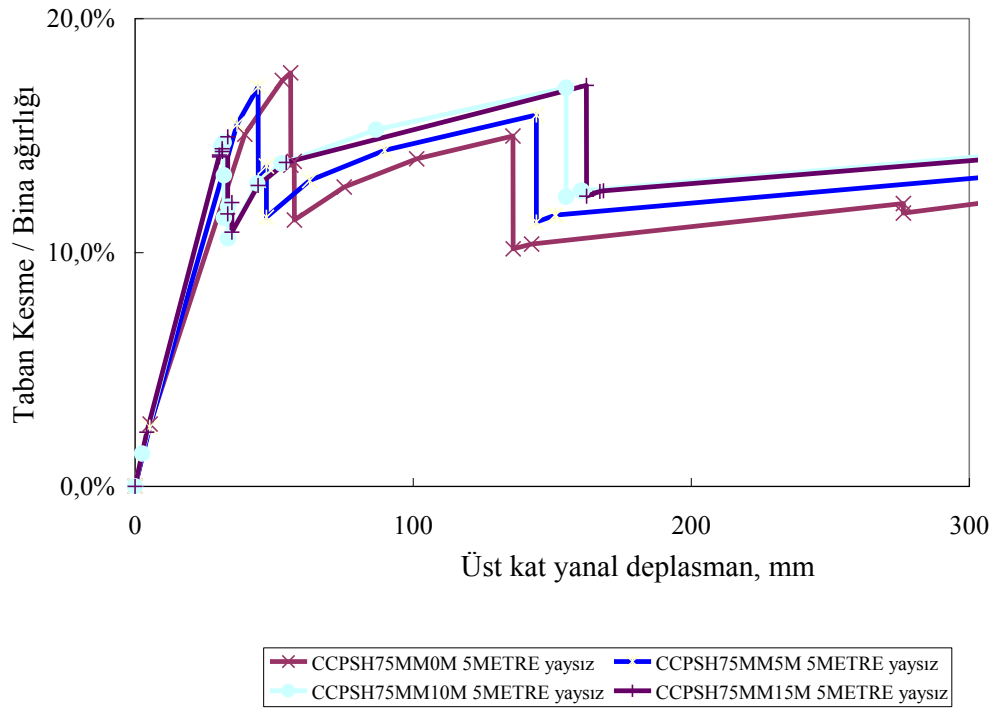
Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre 5.0 metre kiriş açıklığındaki yapı 25 mm çökme derinliğinde tünel merkezindeki konumlara göre kıyaslandığında tünel merkezinden 10.0 ve 15.0 m uzaklıktaki yani 3. ve 4. konumlardaki yapıların grafikleri birbiriyle hemen hemen aynı olup örtüşmektedir. (Şekil 5.1) Tünel merkezindeki 1. konumda yapının akma dayanımı en yüksek olarak görülmekte merkezden uzaklaştıkça dayanım düşmektedir. Bunun nedeni yukarıda belirttiğimiz gibi merkezdeki oturma profilinin U şeklinde simetriye sahip olması diğer konumlardaki profillerde ise şeve yerleştirilmiş yapı pozisyonunun olmasıdır.



Şekil 5.1 25 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 5.0 - 10.0 - 15.0 m konumları

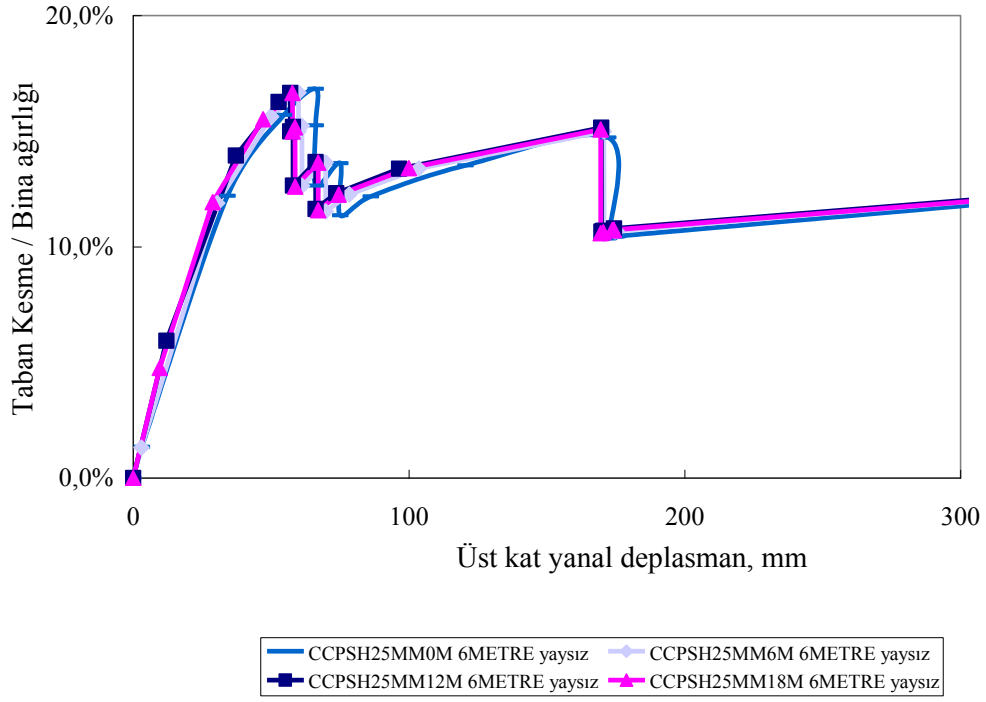


Şekil 5.2 50 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 5.0 – 10.0 -15.0 m konumları



Şekil 5.3 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 5.0 – 10.0 -15.0 m konumları

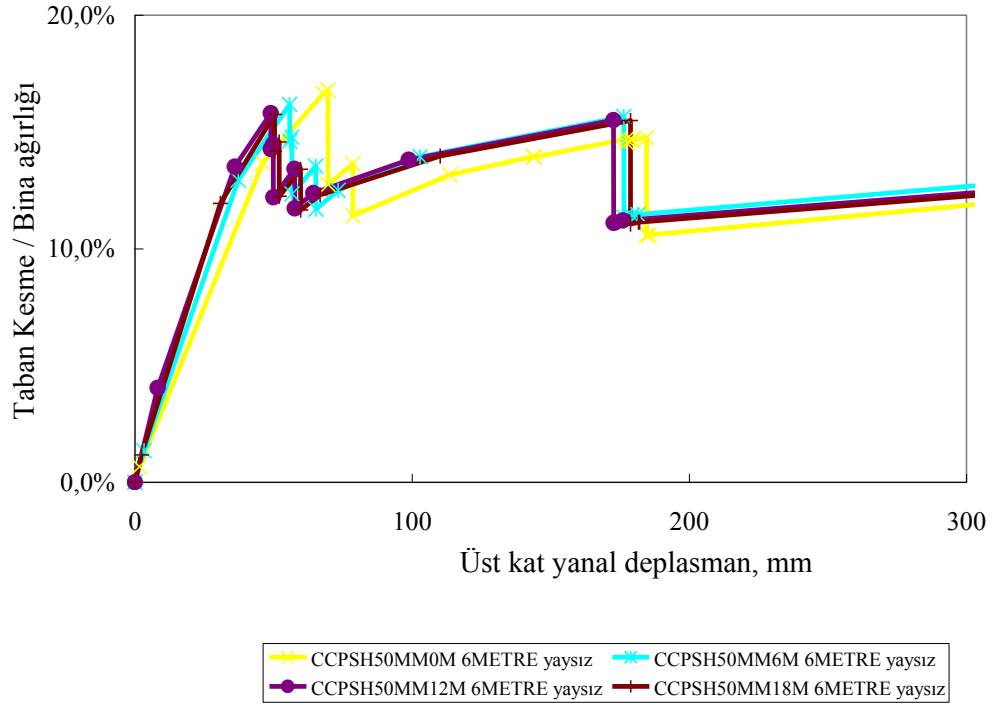
Aynı şekilde 5.0 m açıklıklı yapı 50 mm ve 75 mm çökme derinliklerinde tünel merkezinden konumlarına göre kıyaslandığında tünel merkezinden uzaklaştıkça 25 mm çökme derinliğindeki yapıya benzer özellik göstermekte fakat 3. ve 4. konumda grafikler ayırt edilebilir şekilde gelmektedir. Bu durum bize gösteriyor ki çökme derinliğinin artması tünel merkezinden uzaktaki yapıları daha fazla olumsuz yönde etkilemektedir. (Şekil 5.2, Şekil 5.3)



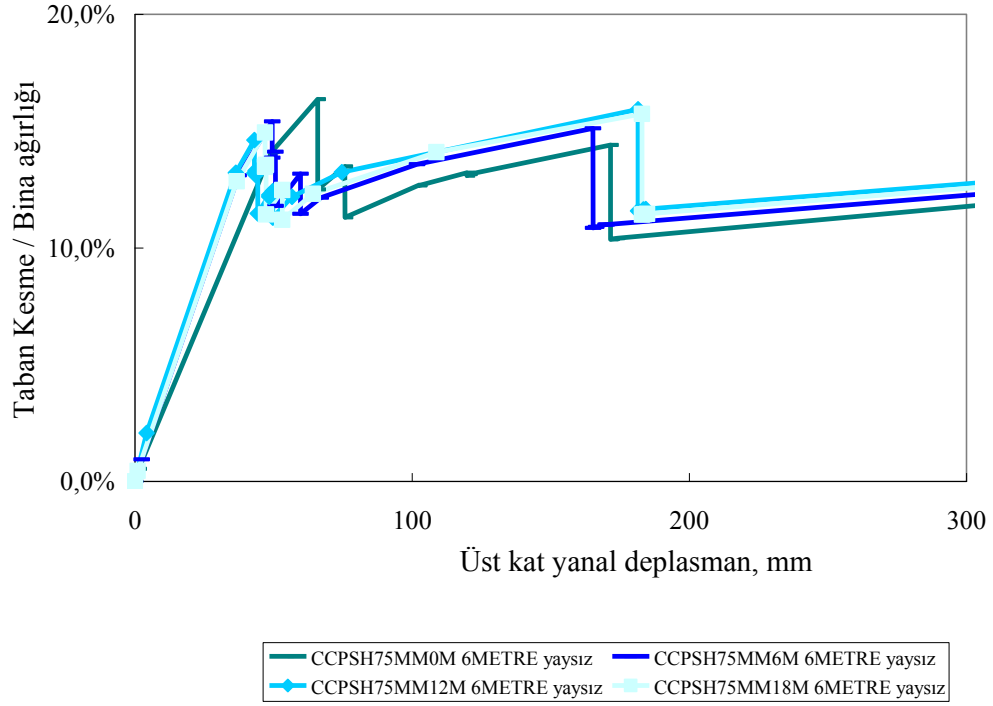
Şekil 5.4 25 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0 -6.0 - 12.0 -18.0 m konumları

Bir sonraki yapı modeli olan 6.0 metre kiriş açıklığındaki yapının aynı şekilde 3 kez açıklık oranında kaydırılmasıyla konumları incelendiğinde 25 mm çökme derinliğinde tünel merkezindeki konumlara göre bu kez tünel merkezinden 2, 3 ve 4. konulardaki yapıların grafikleri birbiriyle hemen hemen aynı olduğu ve birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. (Şekil 5.4) Yine tünel merkezindeki yani 1.konumdaki yapının akma dayanımının yüksek olduğu görülmekte merkezden uzaklaştıkça dayanım düşmektedir. Ancak bu değişiklik oldukça az oranda olmaktadır. Tabii ki bu durum çökme derinliğinin 25mm gibi küçük değerde olmasının ve açıklık arttığı için

yapının çökme profiline 5.0m açıklıklı yapıya göre, yerleşiminin daha geniş sınırlarda olmasının nedenidir. Yani açıklık arttıkça 2. 3 ve 4. konumlardaki değerler birbirine daha yaklaştığı gözükmektedir.

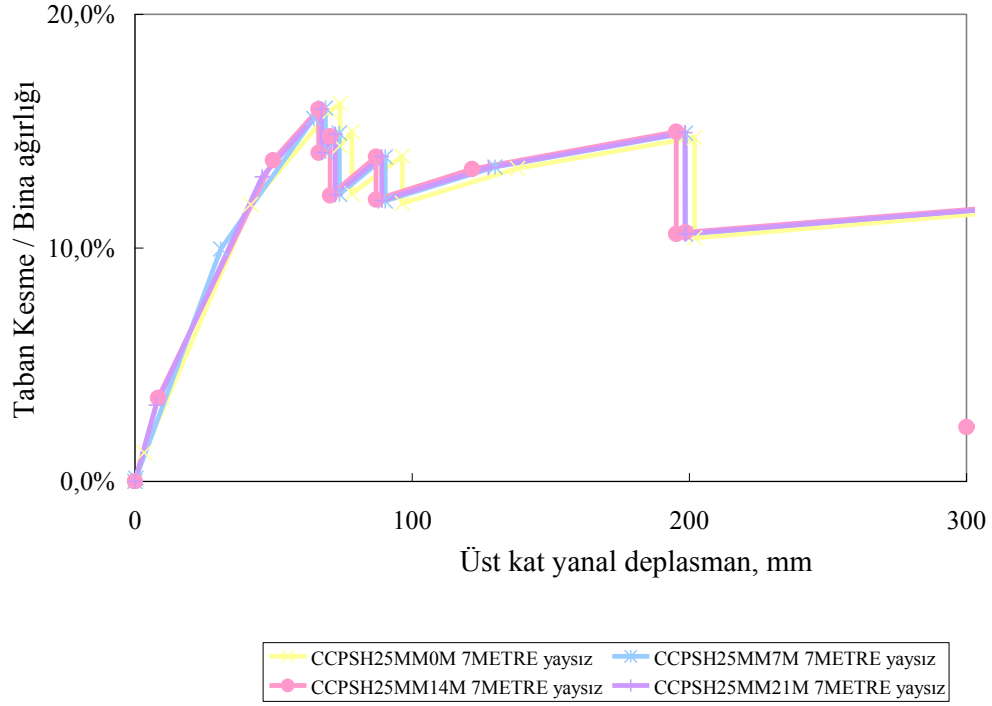


Şekil 5.5 50 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları



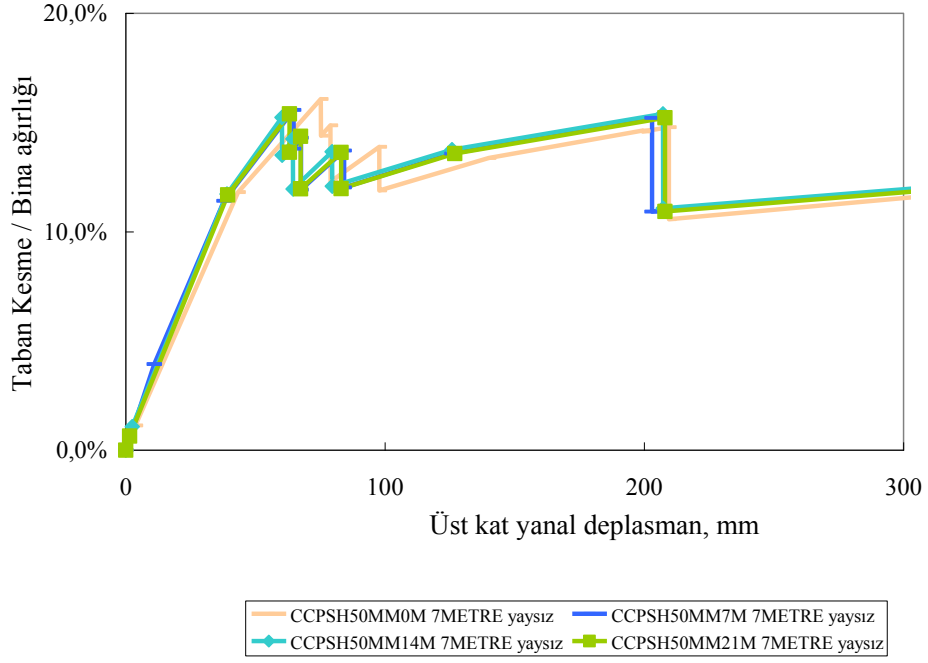
Şekil 5.6 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları

Aynı şekilde 6.0 m açıklıklı yapı 50 mm ve 75 mm çökme derinliklerinde tünel merkezinden konumlarına göre kıyaslandığında tünel merkezinden uzaklaştıkça 25 mm çökme derinliğindeki yapılara göre 2. 3.ve 4. konumlardaki yapıların grafikleri ayırt edici şekle geldiği görülmektedir. Benzer şekilde 25mm deki gibi merkezdeki yani 1.konumda bulunan yapının dayanımı uzaktaki konumlamalara göre daha fazladır. (Şekil 5.5, Şekil 5.6)

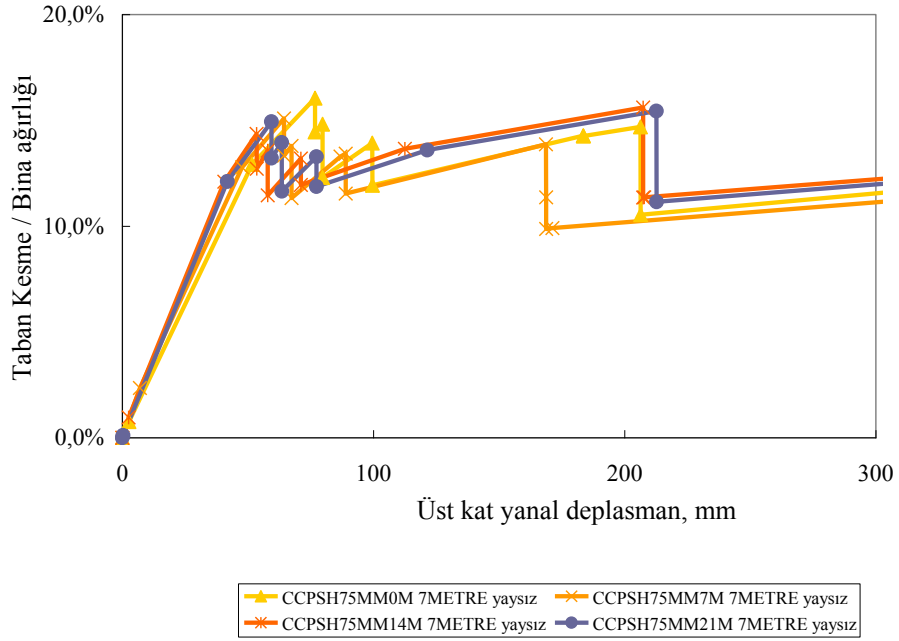


Şekil 5.7 25 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 7.0 - 14.0 - 21.0 m konumları

7.0 metre giriş açıklığındaki yapının aynı şekilde 3 kez açıklık oranında kaydırılmasıyla konumları incelendiğinde ise 25 mm çökme derinliğinde tünel merkezindeki konumlara göre bu kez dört konumdaki yapının da grafiklerinin birbiriyle hemen hemen aynı olduğu ve birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. (Şekil5.9) Yine tünel merkezindeki yapının akma dayanımı yüksek olduğu görülmektedir. Ancak bu değişiklik oldukça az oranda olmaktadır. Tabii ki bu durum yine derinliğin 25mm gibi küçük değerde olmasının ve açıklık arttığı için yapının çökme profiline 5.0 m ve 6.0 m açıklıklı yapılara göre, yerleşiminin daha geniş sınırlarda olmasının verdiği bir sonuç olarak gözükmektedir.



Şekil 5.8 50 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0 - 7.0 - 14.0 - 21.0 m konumları

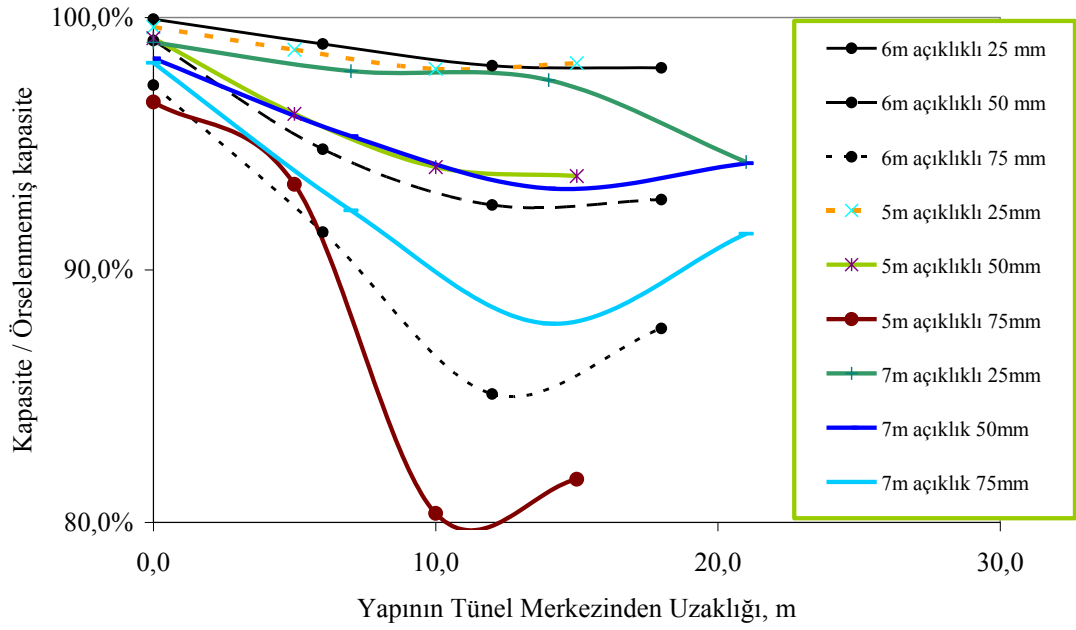


Şekil 5.9 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0-7-14-21 m konumları

Aynı şekilde 7.0 m açıklıklı yapı 50 mm ve 75 mm çökme derinliklerinde tünel merkezinden konumlarına göre kıyaslandığında tünel merkezinden uzaklaştıkça 25 mm çökme derinliğindeki yapılara göre 2. 3.ve 4. konumlardaki yapıların grafikleri ayırt edici şekle geldiği görülmektedir. Fakat bu ayırt edicilik 6.0 m açıklıktakine göre daha az orandadır.(Şekil 5.8 - 5.9)

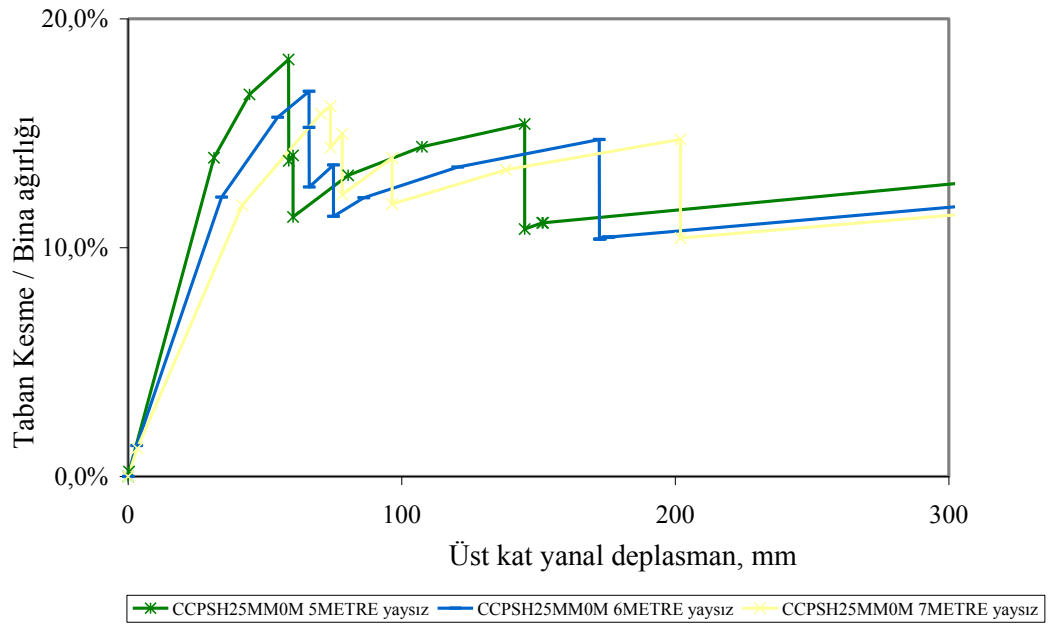
Sonuç olarak yapılar çukur üzerindeki konumlarına göre yorumlandığında; grafiklerden de görülebileceği üzere 5.0, 6.0 ve 7.0 m giriş açıklığındaki yapıların çukur merkezindeki 1. konumunda meydana gelen kapasite azalması diğer 2, 3 ve 4. konumlara göre daha azdır. Bu durum 2. 3. ve 4. (çukurun merkezindeki konum dışındaki konumlar) konumlarındaki oturmanın şeve yerleştirilmiş yapı tipine benzemesi nedeniyle daha az oturmanın oluşması ile açıklanabilir. Ayrıca yine grafiklerden anlaşılacağı üzere yapılardaki giriş açıklığına artması 2. 3. ve 4. konulardaki dayanım değerlerini birbirine yaklaştırmaktadır.

Yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanım kapasitesindeki azalma incelendiğinde aşağıdaki grafikte de görüldüğü üzere tüm çökme derinliklerinde 3. konumdaki kapasite en düşüktür. 25mm ve 50mm çökme derinliğinde yapının açıklığı deprem dayanımını çok fazla etkilememekte fakat 75mm çökme derinliğinde görülmektedir ki açıklık arttıkça dayanım artmaktadır yani açıklığı en az olan yapının dayanımı en azdır. 3. konumda 5.0 m açıklıklı yapının deprem dayanım kapasitesi % 20 azalırken 6.0 m açıklıklı yapının %15, 7.0 m açıklıklı yapının ise %10 azaldığı görülmüştür.

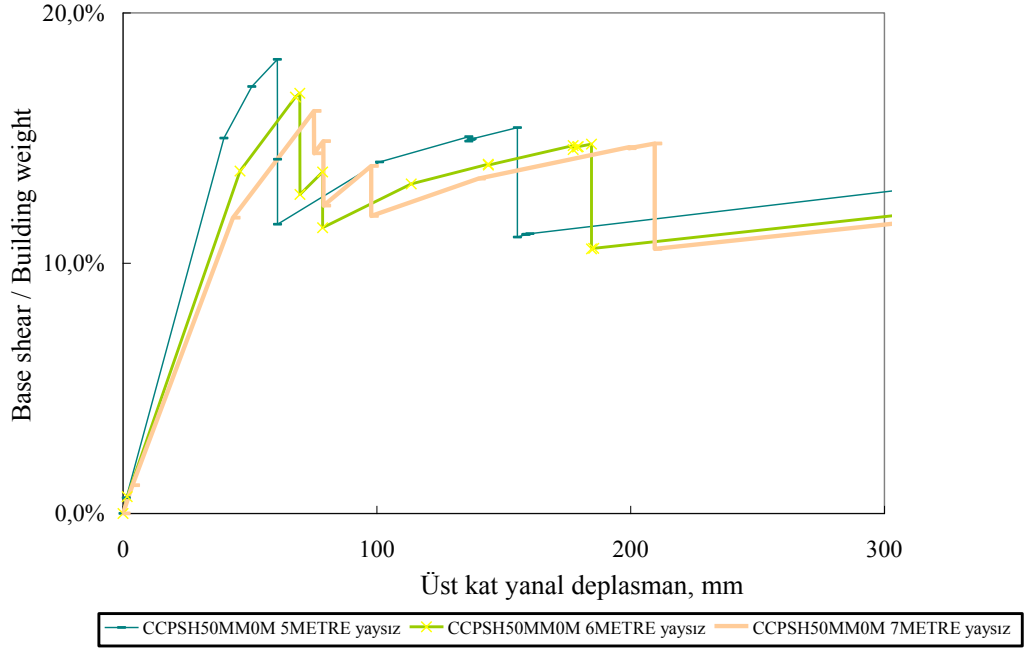


Şekil 5.10 Yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanım kapasitesindeki azalma

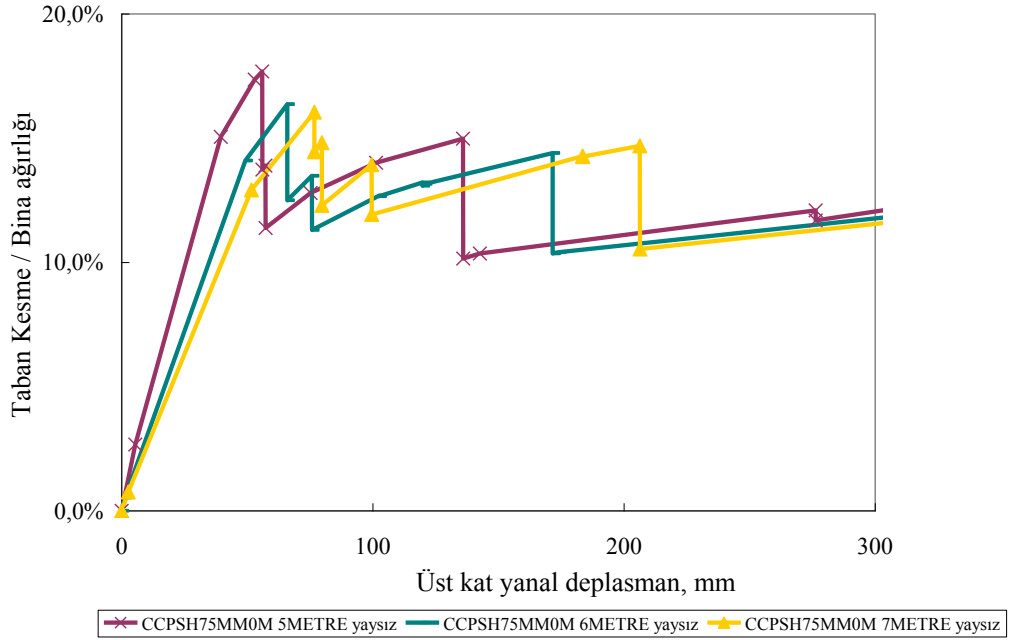
5.2 Yapıların Kiriş Açıklığına Göre Kıyaslanması



Şekil 5.11 Tünel merkezinde 25mm çökme derinliğinde 5.0, 6.0 ve 7.0 m açıklıklı yapı



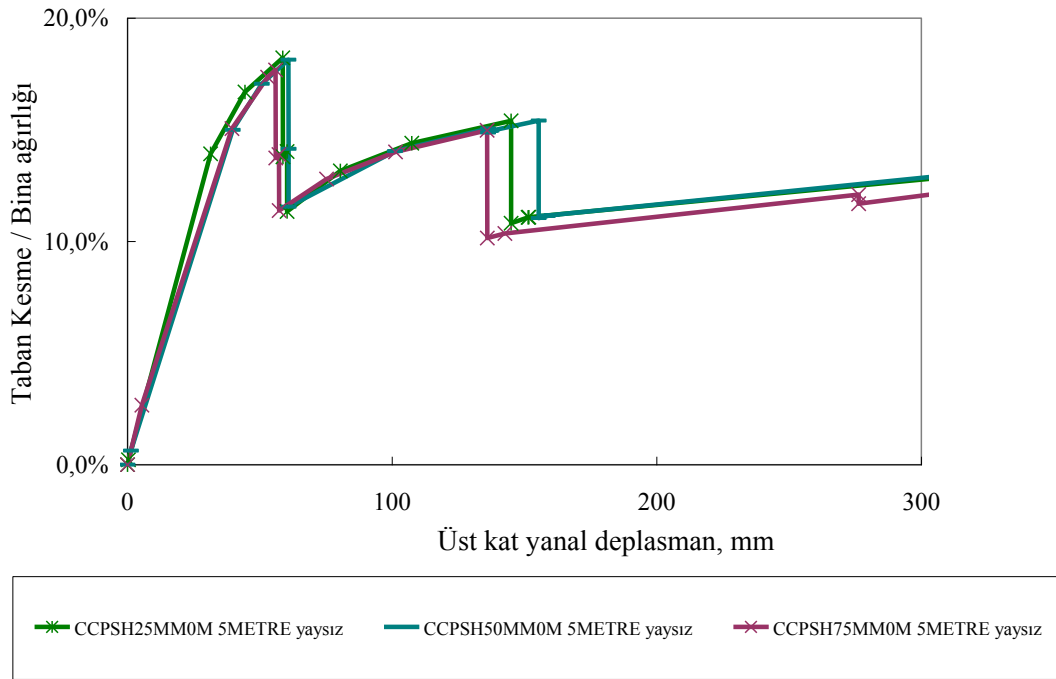
Şekil 5.12 Tünel merkezinde 50mm çökme derinliğinde 5.0, 6.0 ve 7.0 m açıklıklı yapı



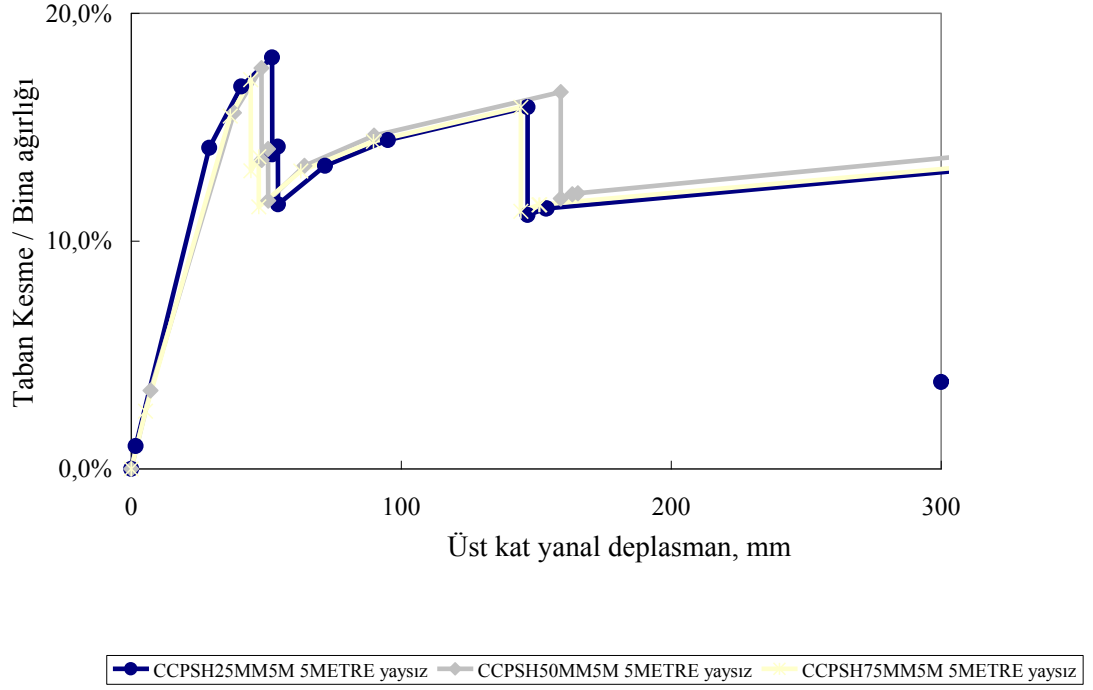
Şekil 5.13 Tünel merkezinde 75 mm çökme derinliğinde 5.0 , 6.0 ve 7.0m açıklıklı yapı

Ayrıca yalnızca kiriş açıklığına göre yapılan kıyaslamada ise 25 mm, 50 mm ve 75mm çökme derinliklerin hepsinde grafiklerden de görüleceği üzere yapı kiriş açıklığı yapı kapasitesine aynı şekilde etki etmektedir. Kiriş açıklığı arttıkça yapı kapasitesindeki azalma orantılı olarak artmaktadır. Konuma göre kıyaslama grafikleri ve bu grafikler göstermektedir ki açıklık parametresi zaten kendi başına kapasiteyi ters oranda etkilemektedir. (Şekil 5.11 - 5.13)

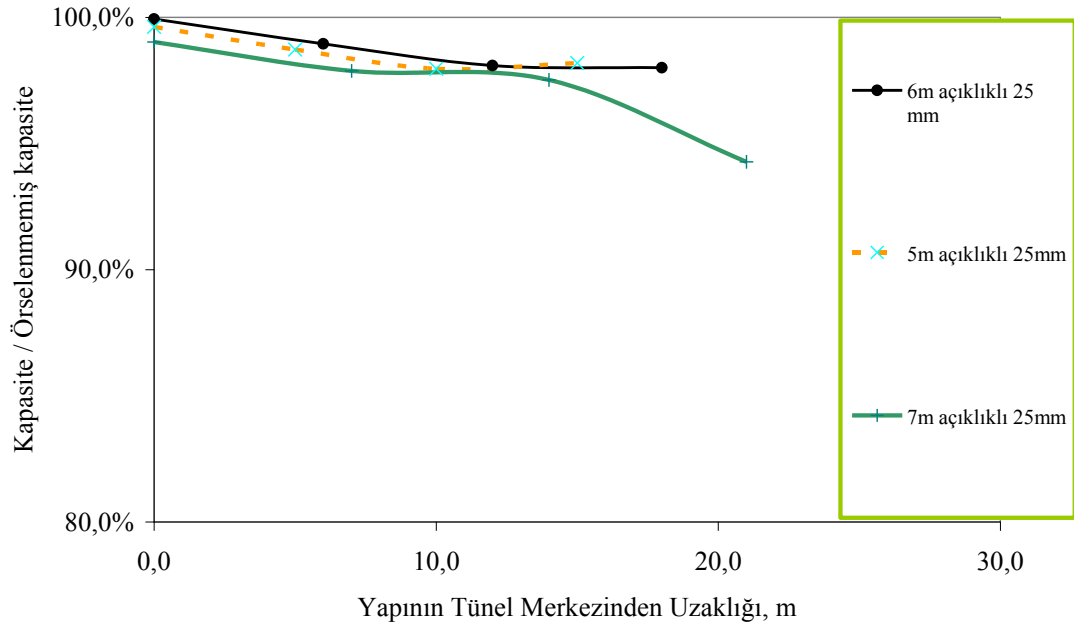
Konuma göre kıyaslandığında açıklık arttıkça 2. 3. ve 4. konumlardaki veriler birbirine yaklaşmaktaydı hatta 7.0 m açıklıkta 1. konum dahi diğer konumlara oldukça yakınlaşmıştı fakat görülüyor ki tek başına açıklık parametresi kapasiteyi ters oranda etkilemektedir. Yani kapasiteyi düşürmekte fakat 2. 3. ve 4. konumları birbirine yaklaştırmaktadır.



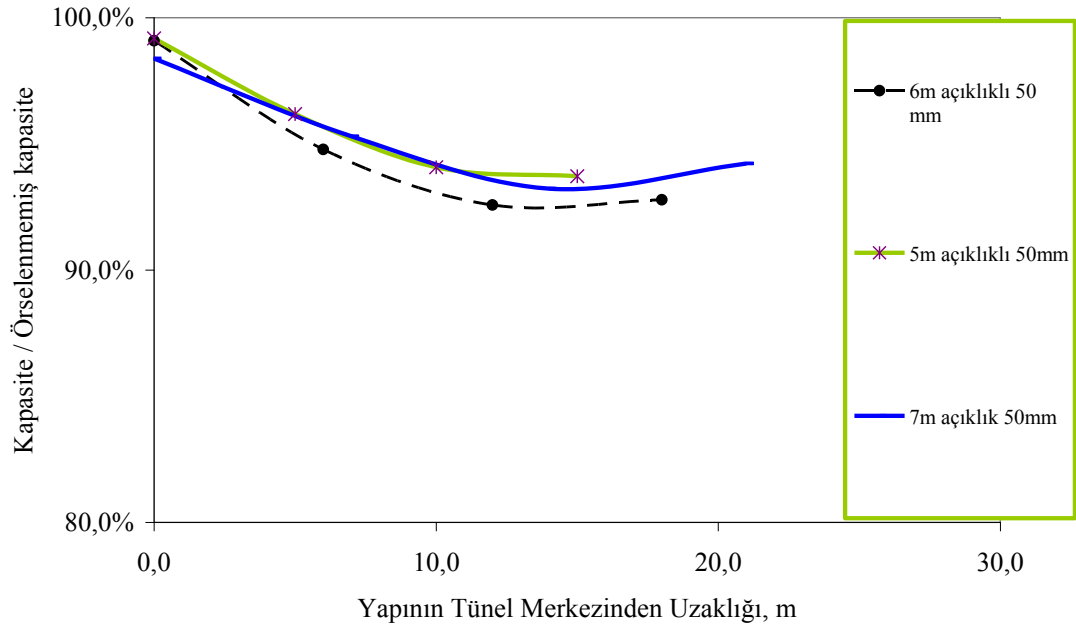
Şekil 5.14 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları



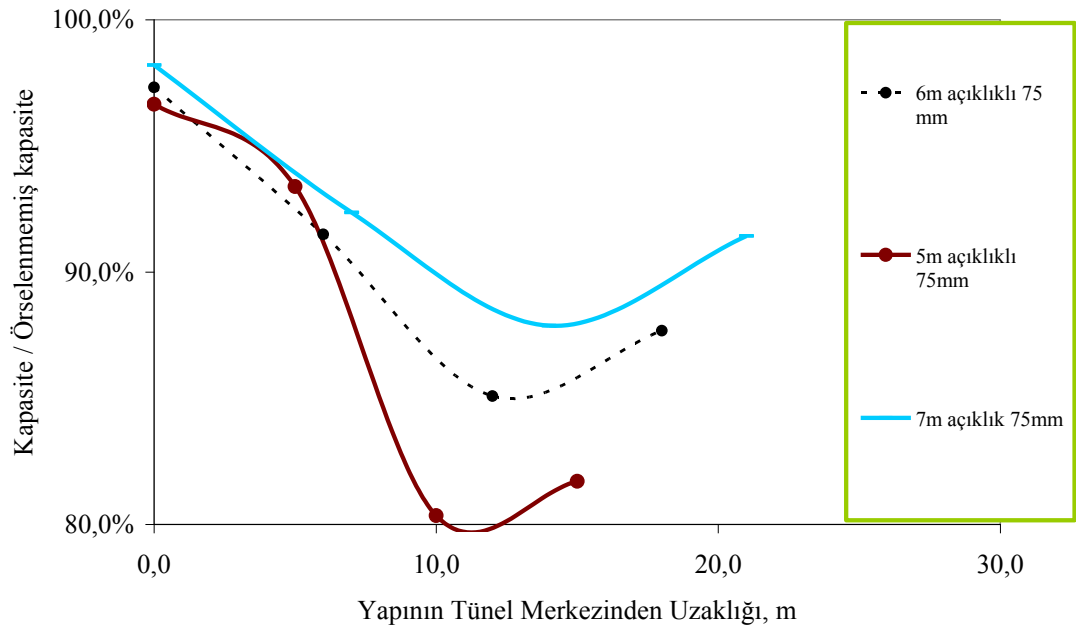
Şekil 5.15 5.0 m kaydırılmış 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları



Şekil 5.16 25mm çökme derinliğinde 5.0 , 6.0 ve 7.0m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma



Şekil 5.17 50mm çökme derinliğinde 5.0 , 6.0 ve 7.0m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma

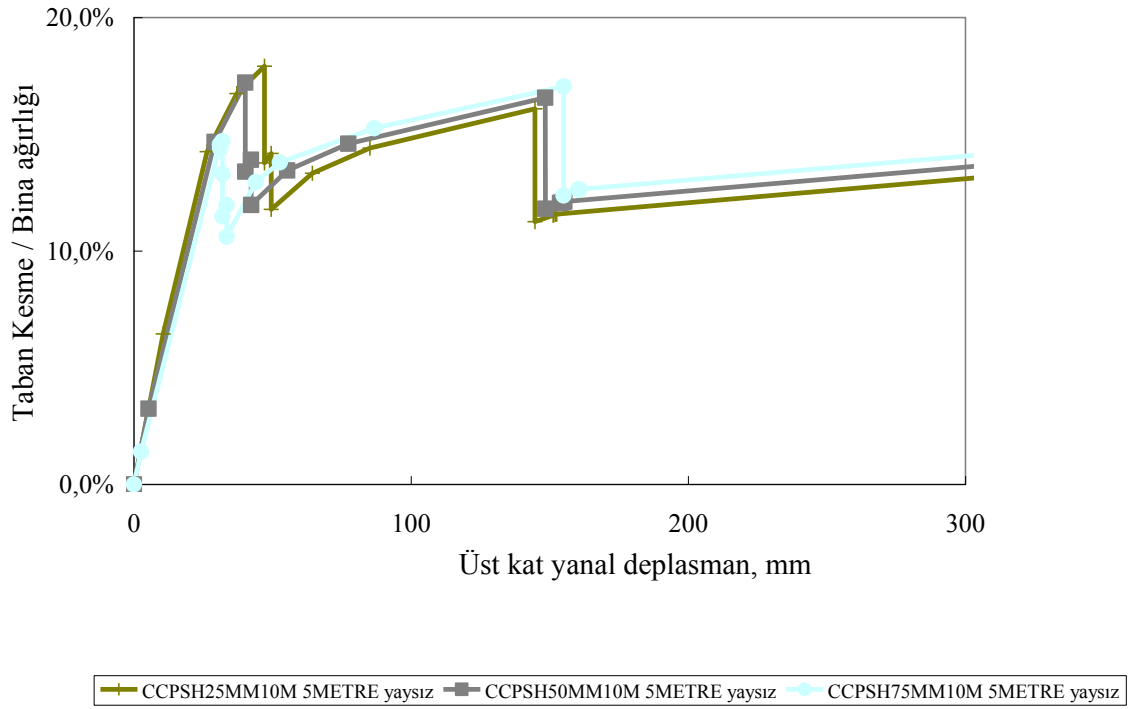


Şekil 5.18 75mm çökme derinliğinde 5.0, 6.0 ve 7.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma

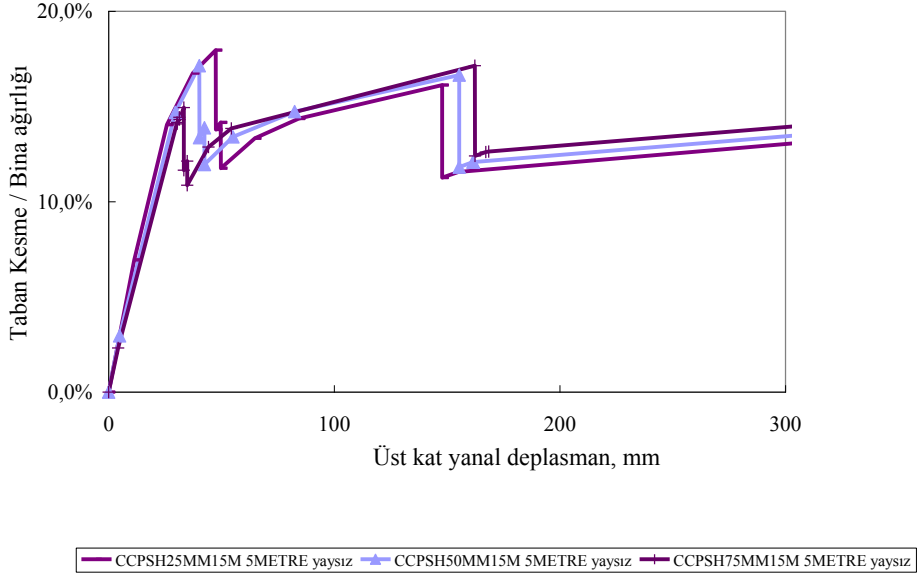
Yapıların kiriş açıklıklarına göre deprem dayanımları kıyaslandığında görülmektedir ki bir önceki bölümde bahsettiğimiz gibi 25mm ve 50mm de kiriş açıklığının önemli bir etkisi yoktur. Fakat 75mm çökme derinliğinde kiriş açıklığının her 1.0 m artmasıyla dayanım %5 artmaktadır. Yani yapının çukur üzerinde geniş bir alana oturması yapıdaki oturma çarpıklığını azaltmaktadır.

5.3 Yapıların Çökme Derinliğine Göre Kıyaslanması

Konuyu diğer bir parametremiz olan çökme derinliğine göre kıyasladığımızda ise 5.0 m açıklıklı yapı için 1. ve 2. konumda üç çökme derinliği için aynı değerleri elde ediyoruz.. (Şekil 5.19)

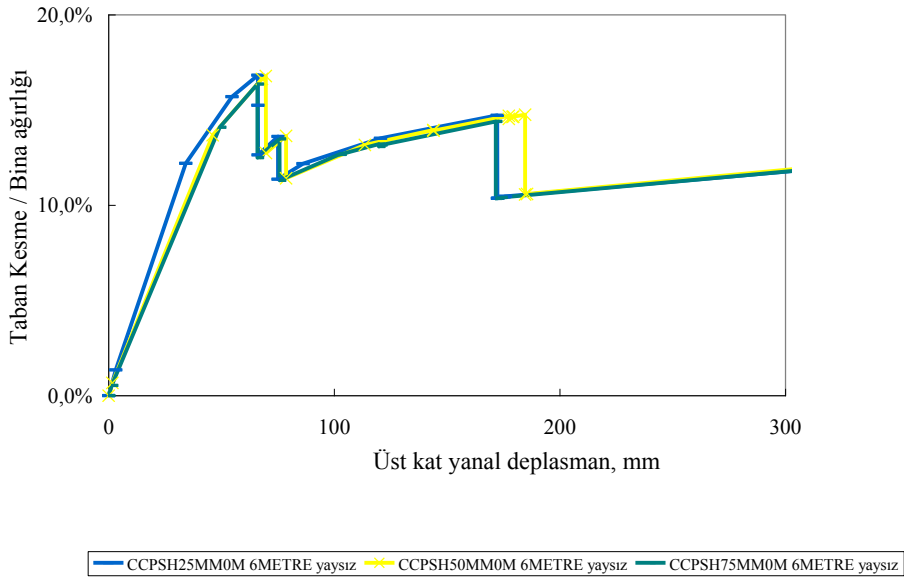


Şekil 5.19 10.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları

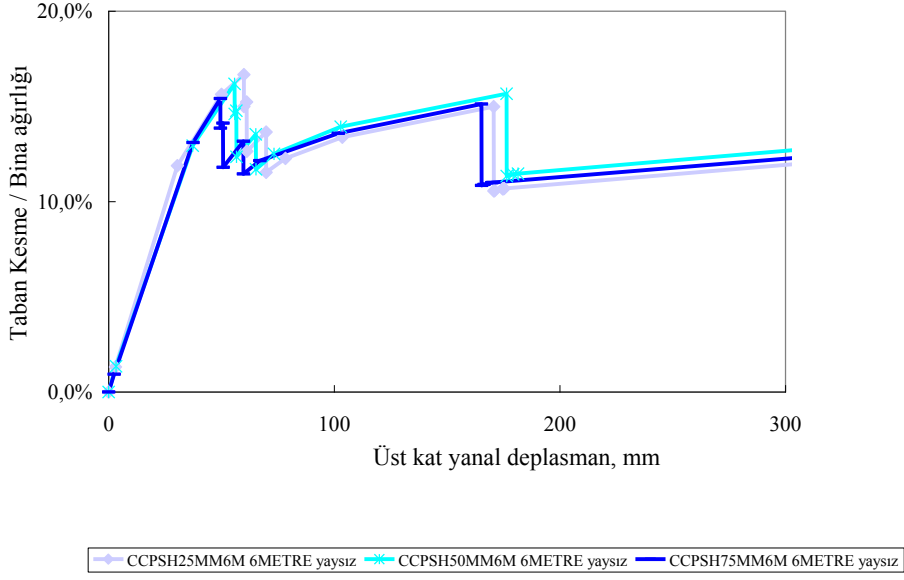


Şekil 5.20 15.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları

Ancak yapı 1. konumdan 4. konuma kadar kaydırıldığında görülmektedir ki 1. ve 2. konumlarda kapasitede herhangi önemli bir farklılık olmamasına rağmen 3. ve 4. konumlarda çökme derinliği kapasiteyi ters orantılı olarak etkilemiştir. Yani burada şev etkisi kendini göstermiştir. Çünkü 1. konumda U şeklinde simetri bir profil üzerinde bulunan yapı 4. konuma geldiğinde şev etkisine maruz kalmıştır. Dolayısıyla çökme derinliğinin şev etkisini artırıcı bir etki yaptığı görülmektedir.

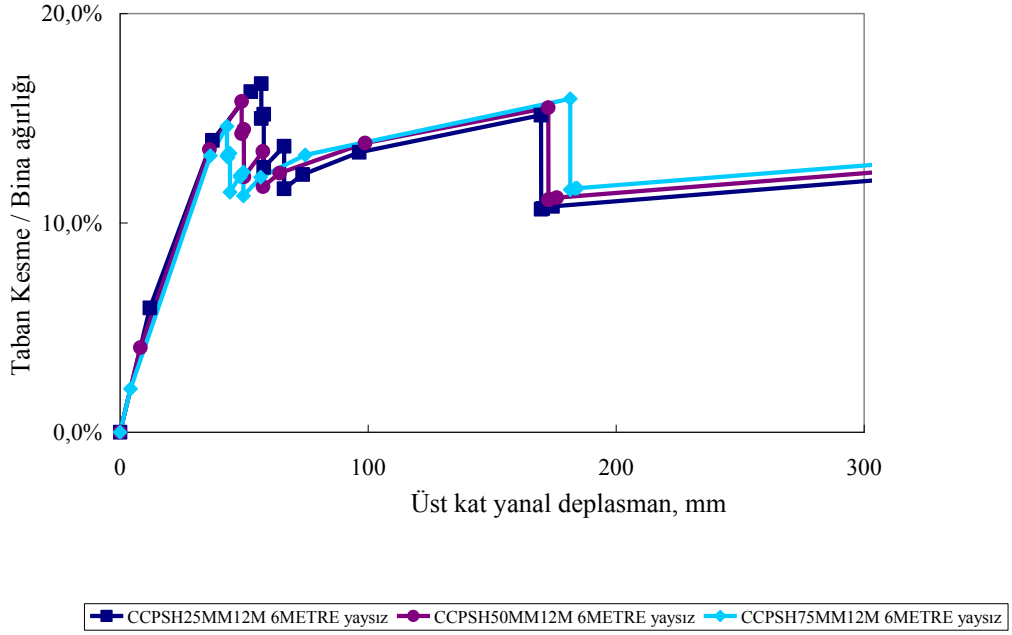


Şekil 5.21 0.0m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları

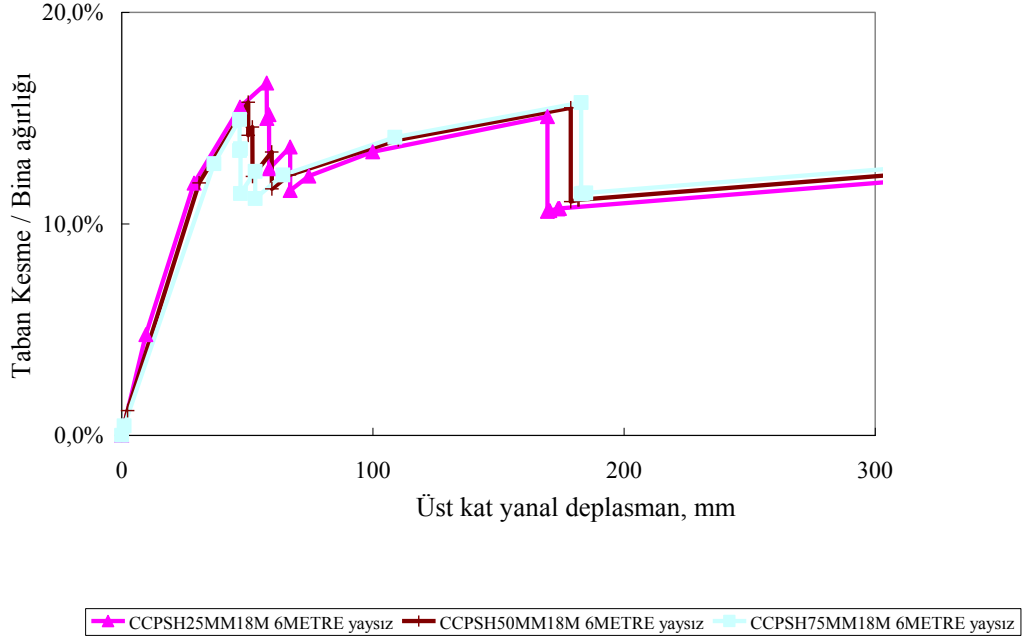


Şekil 5.22 6.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları

Aynı şekilde 6.0 m açıklıklı yapı için üç çökme derinliği ele alındığında görülmüştür ki 5.0 m açıklıktaki yapıdan farklı olarak daha 2. konumda kapasite azalması etkilenmektedir. Yani 5.0 m de 3. ve 4. konumda etkilenen yapı 6.0 m açıklıkta 2. konumdan itibaren etkilenmiştir.

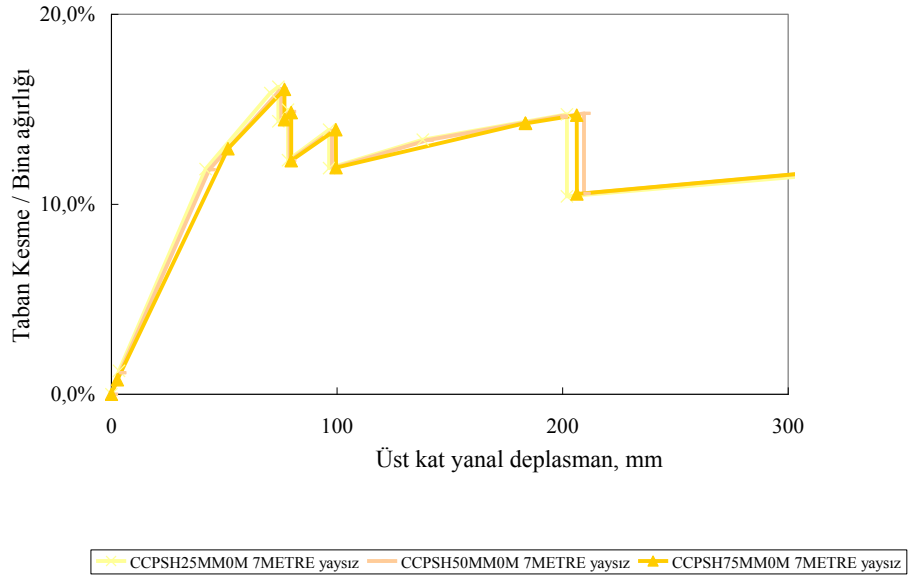


Şekil 5.23 12.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları

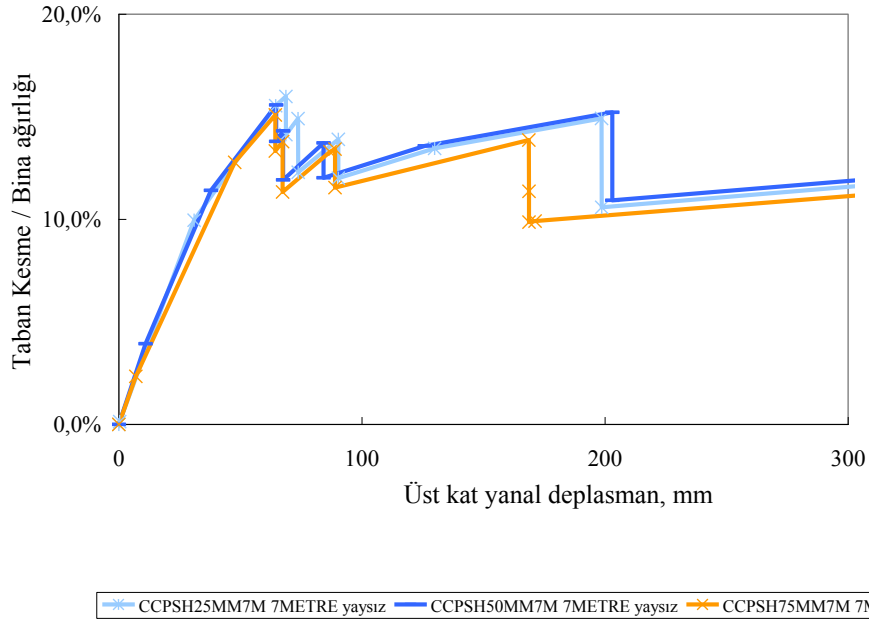


Şekil 5.24 18.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları

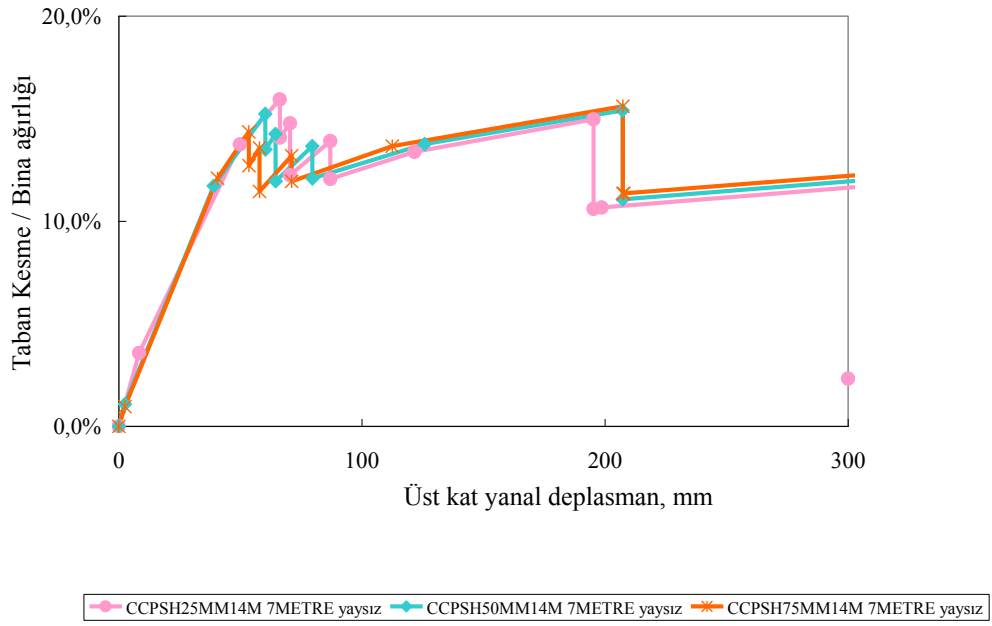
Açıklığın kendi başına kapasiteyi etkilediğini daha önce belirtilmişti. Dolayısıyla 6.0 m açıklıkta 3. ve 4. konumda etkilenme oranı daha fazla olmuştur.



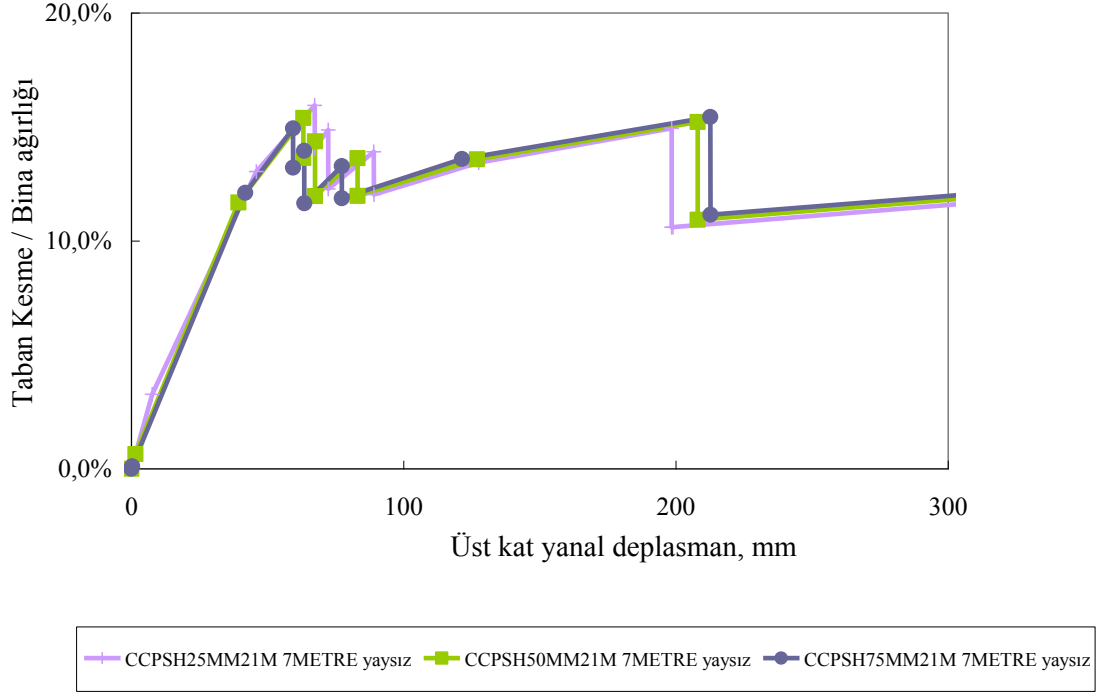
Şekil 5.25 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



Şekil 5.26 7.0m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



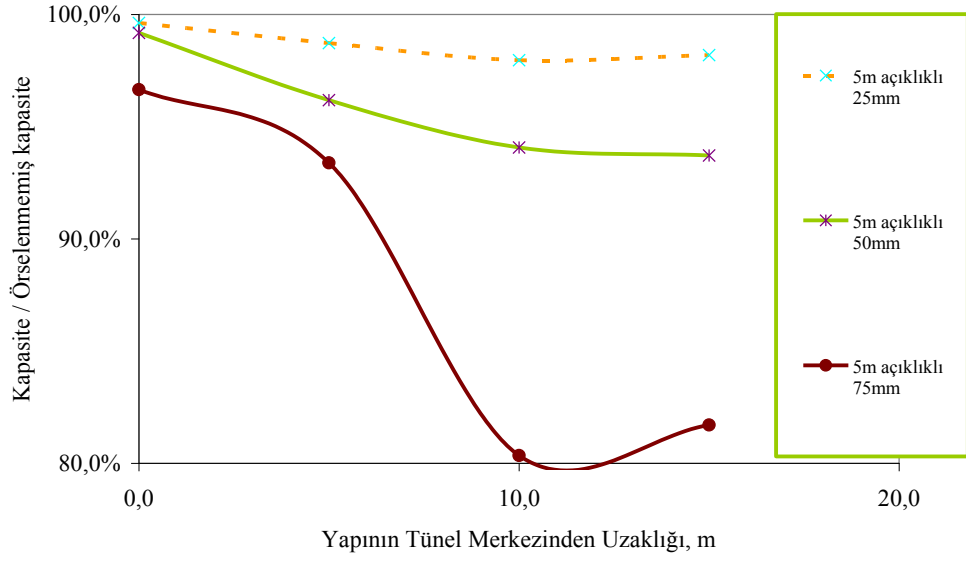
Şekil 5.27 14.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



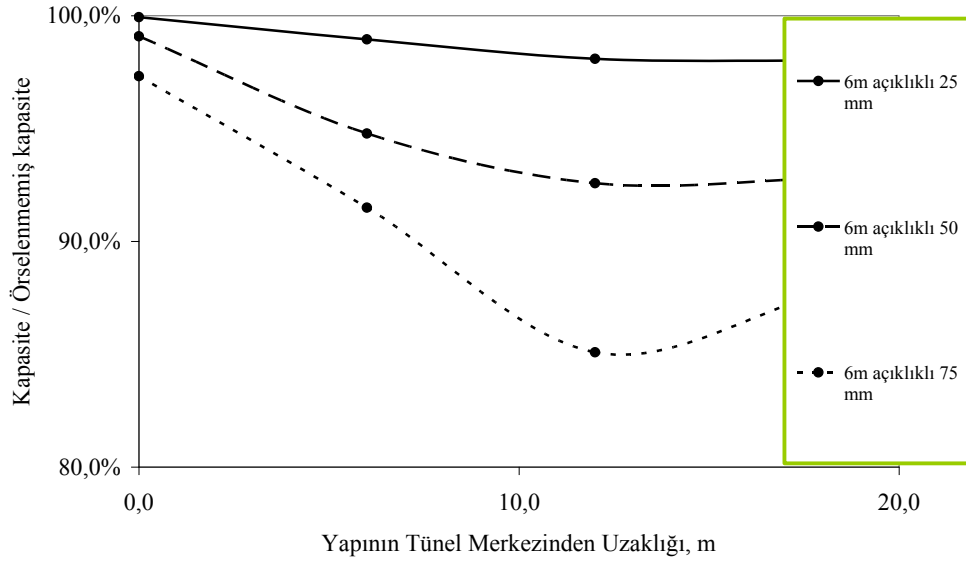
Şekil 5.28 21.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7m açıklıklı yapının konumları

Yine 7.0 m açıklıklı yapının çökme derinliğindeki veriler 6.0m açıklığındaki yapıya benzer özellik göstermekte yani 2. konumdan itibaren çökme derinliği yapı kapasitesini aynı şekilde etkilemiştir.

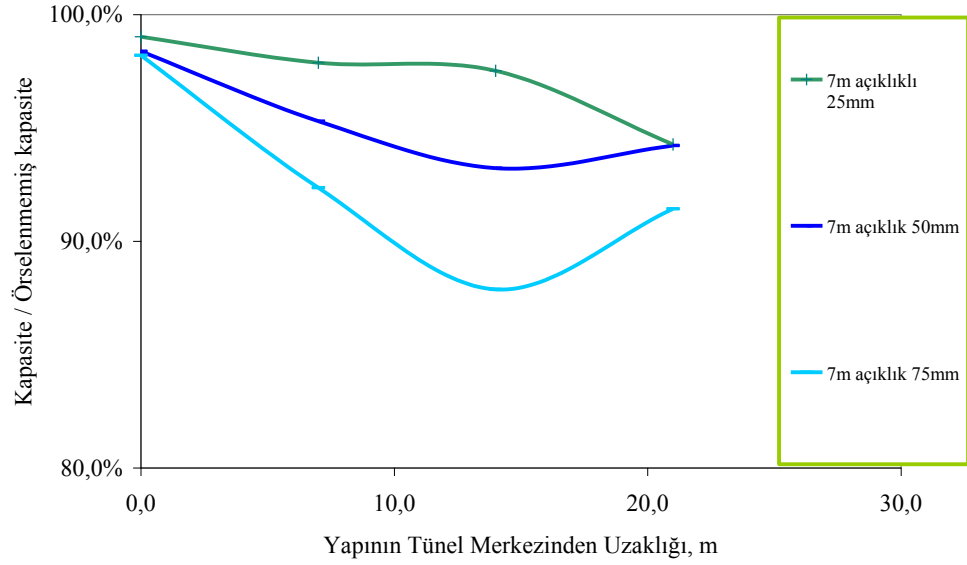
Sonuç olarak yapılar maksimum çökme derinliklerine göre yorumlandığında yapıların konumlarına göre çökme derinliği farklı şekilde etkilemiştir. Genel olarak 1. ve 2. konumlarda çökme derinliğinin yapı kapasitesine etkisi yok denecek kadar az olurken, 3. ve 4. konumlarda bu etki daha da artmıştır. Ayrıca açıklık arttıkça yani 6.0 m ve 7.0 m açıklıklarda 2. konumda da etki meydana gelmiştir. Maksimum çökme arttıkça akma kapasitesindeki azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 5.29 25mm 50mm ve 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma



Şekil 5.30 25mm 50mm ve 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma

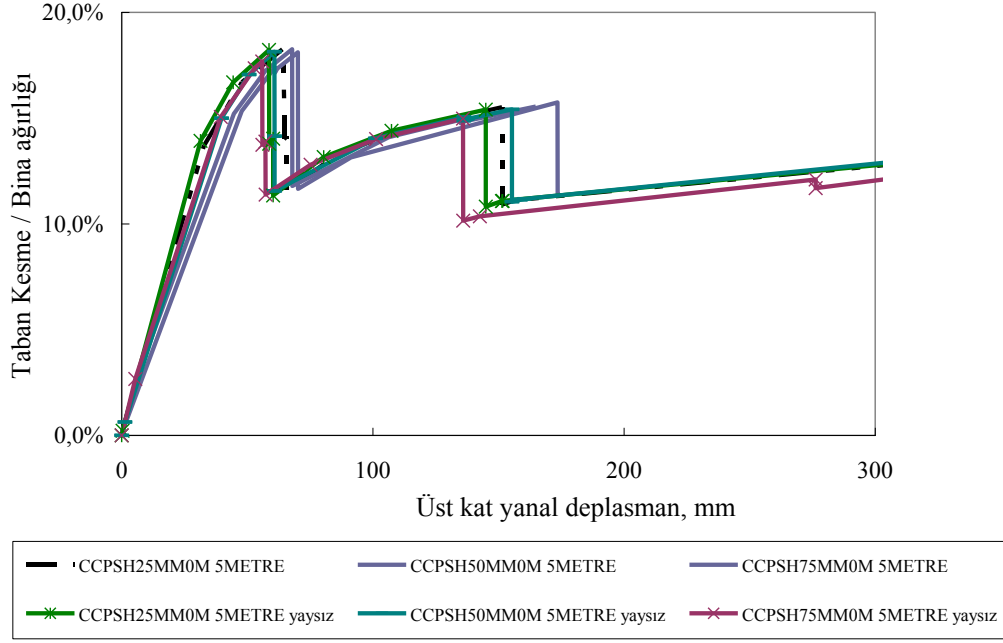


Şekil 5.31 25mm , 50mm ve 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna göre deprem dayanımındaki azalma

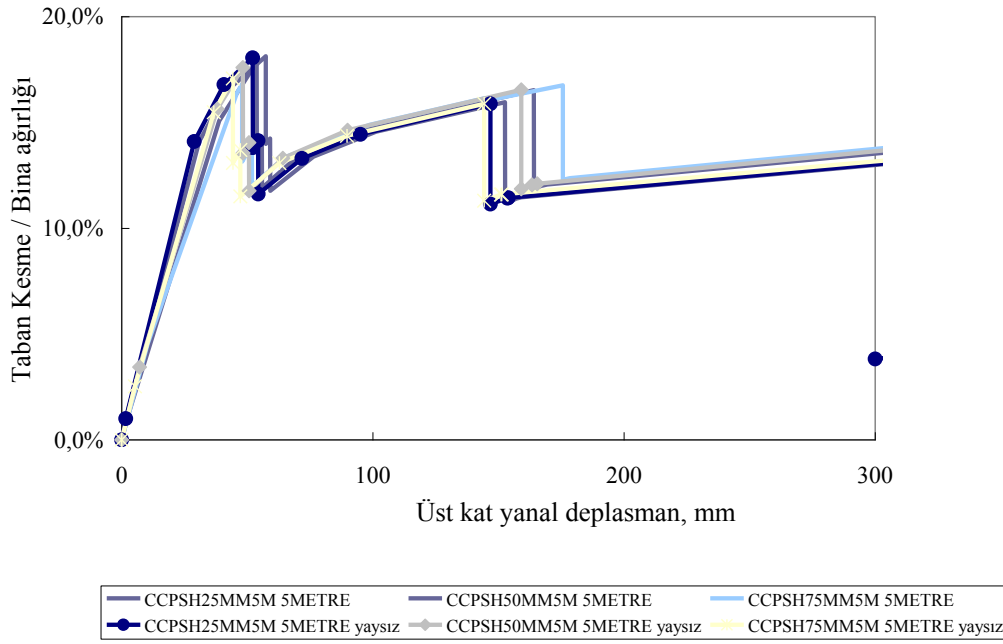
5.4 Yapılara Elastik Yay Tanımlanması Sonucu

Çalışmada ilk üç parametre; maksimum çökme derinliği, çukur üzerindeki konumu ve kiriş açıklığı irdelenmiş olup; dördüncü parametrede yapı zemin etkileşiminin daha iyi incelenebilmesi için temelde kolon altlarına elastik yay tanımlaması yapılmış ve elastik yaylar ilgili kolonun temele bağlanan düğüm noktasında tanımlanmıştır. Daha önce belirttiğimiz gibi yapılan 36 farklı analiz koşulu için yeni 36 farklı yay durumu analiz koşulu elde edilmiştir. Bununla ilgili sonuçlar aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

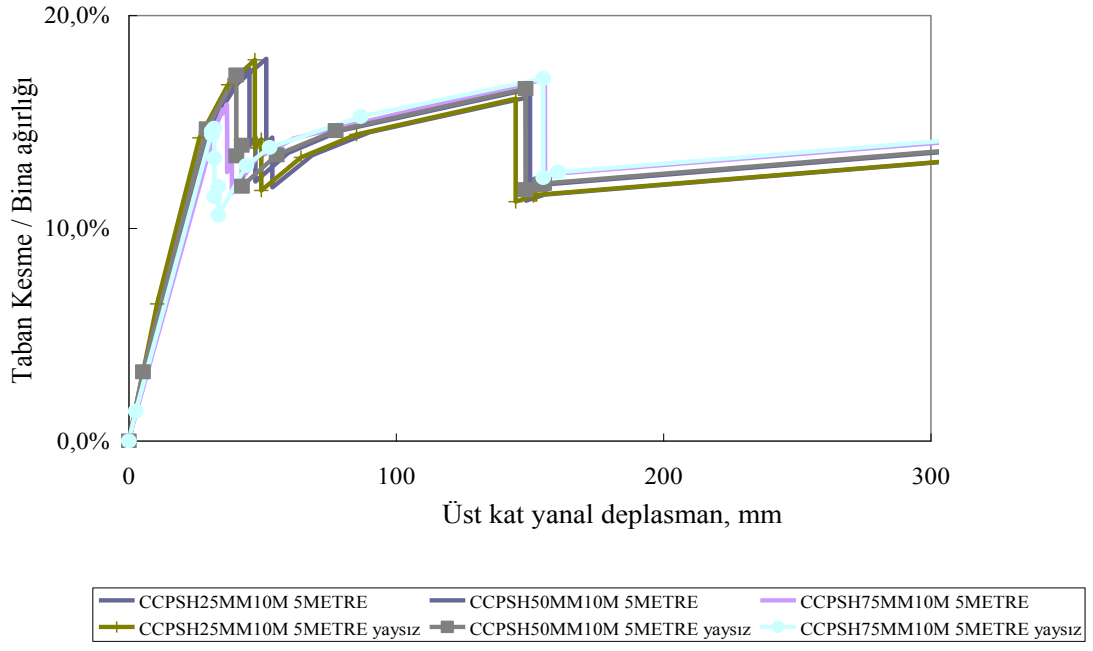
Aynı grafiklere yay durumunun etkisini görebilmek için yapılan yaylı modellerin grafikleri eklenmiş ve yay etkisi incelenmiştir.



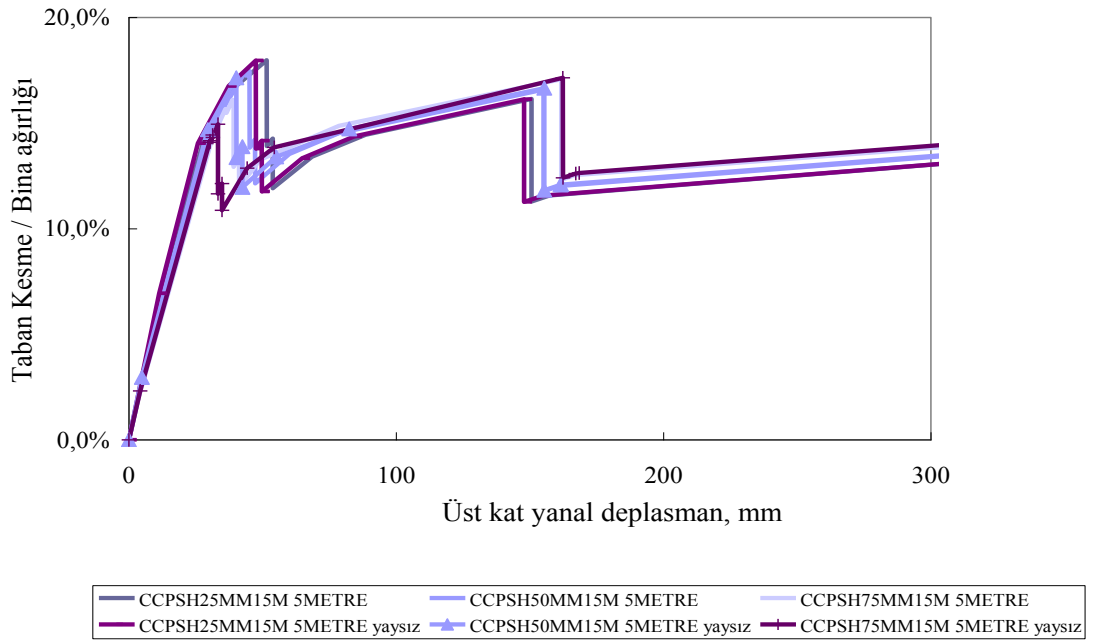
Şekil 5.32 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları



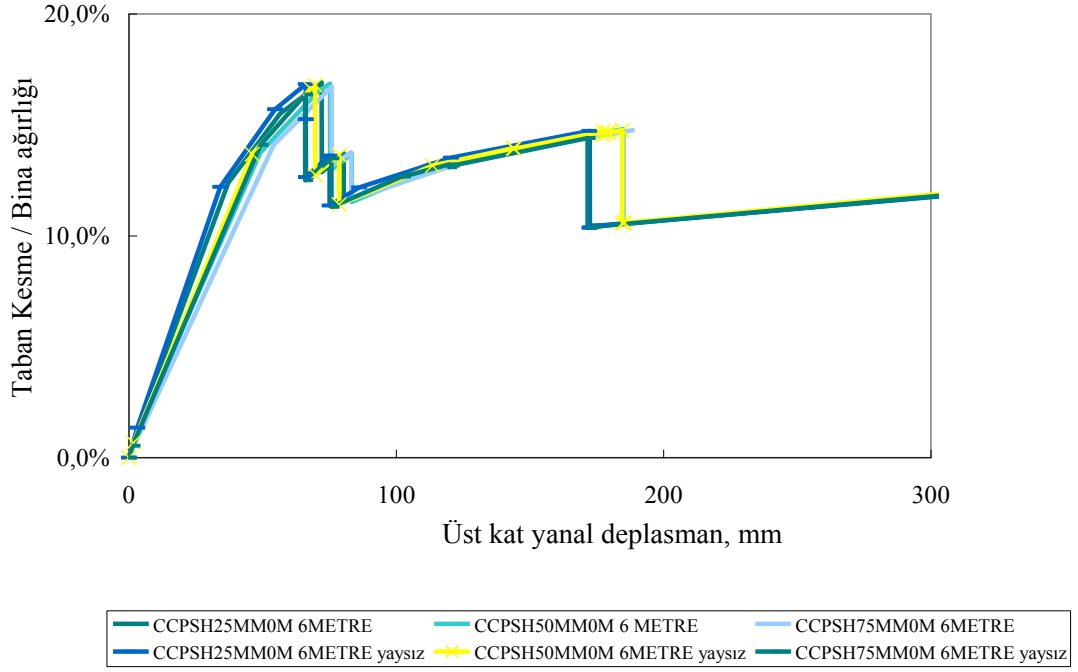
Şekil 5.33 5.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları



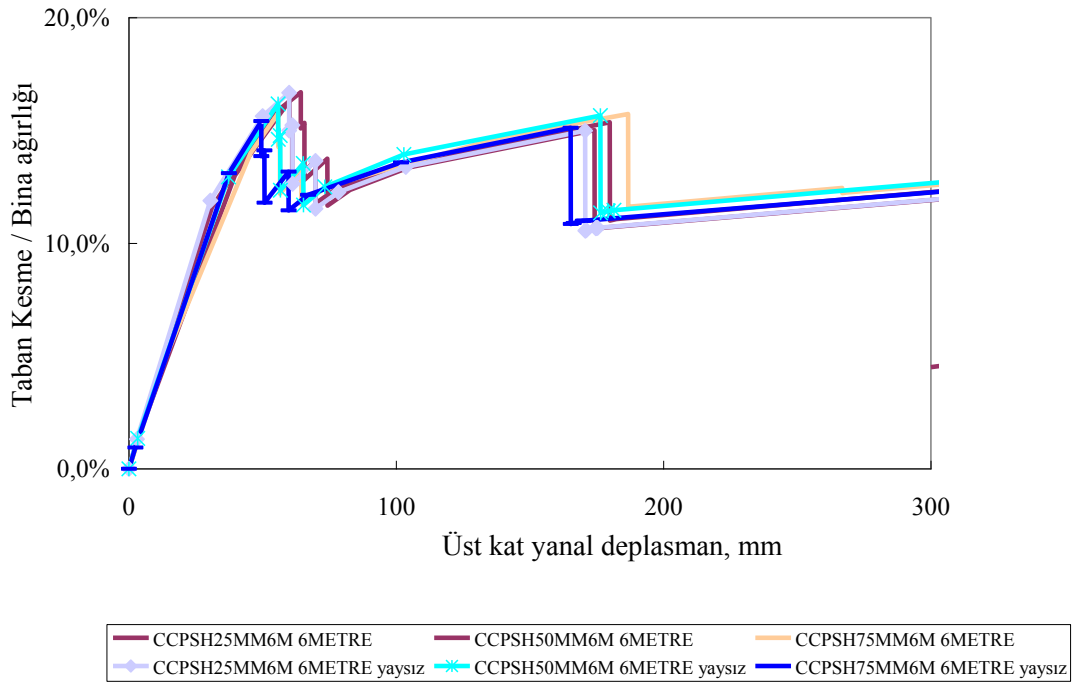
Şekil 5.34 10.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları



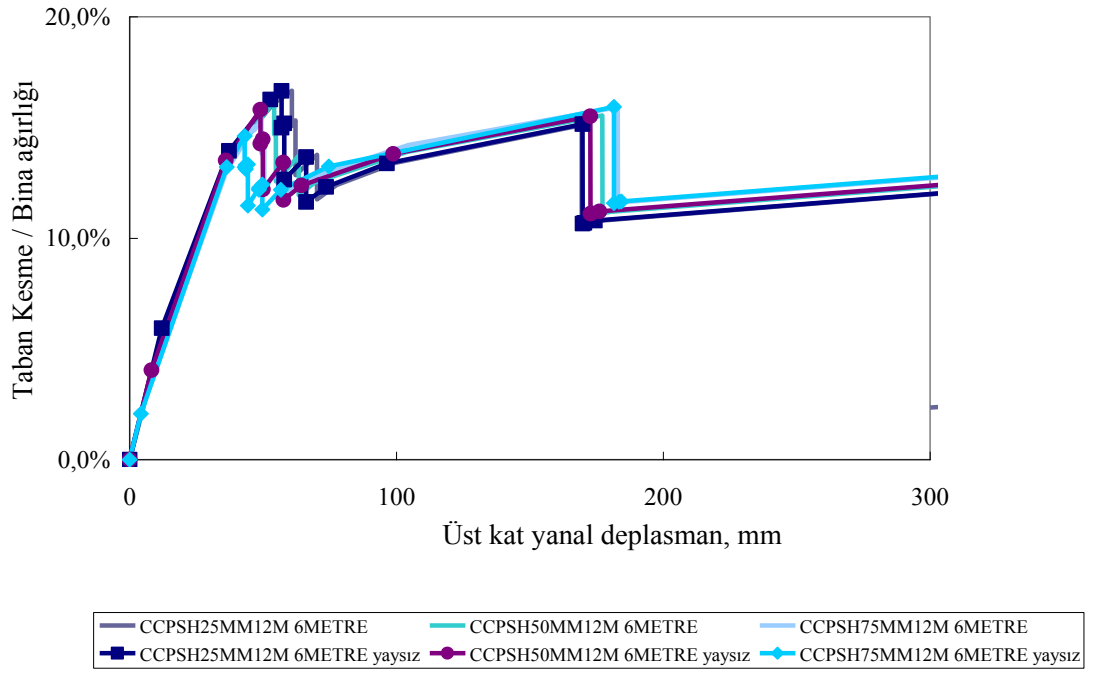
Şekil 5.35 15.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının konumları



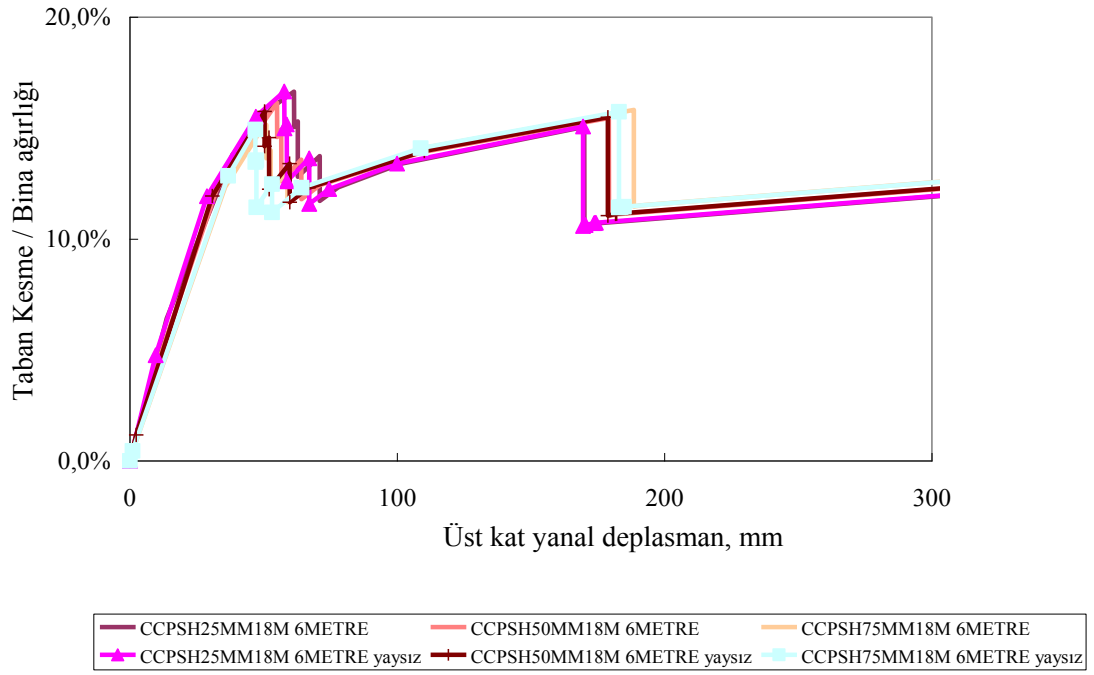
Şekil 5.36 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları



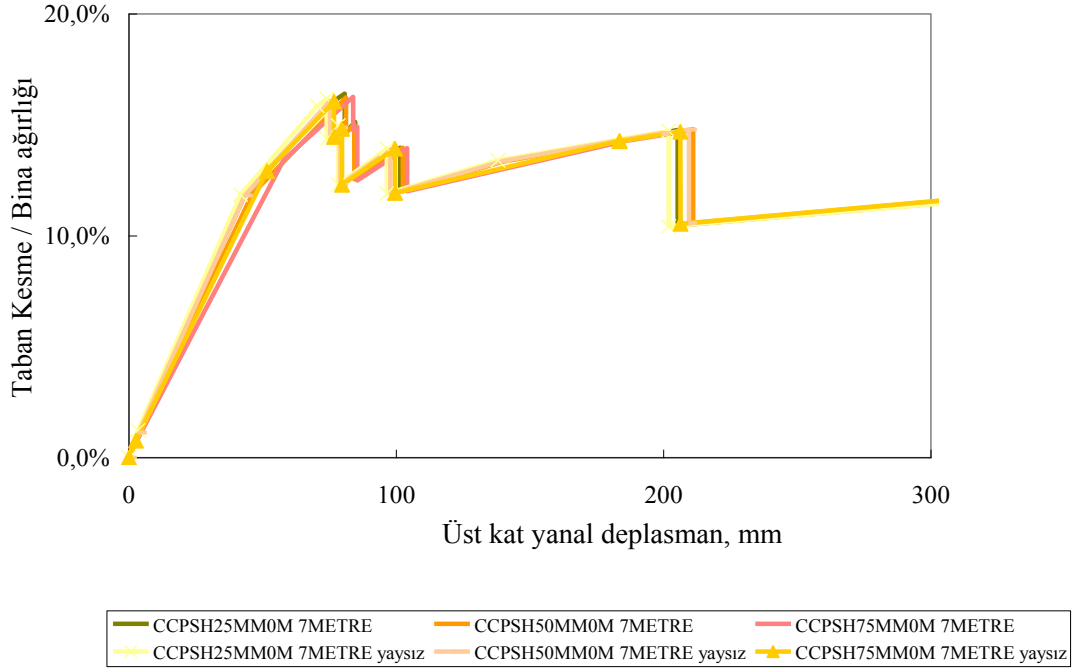
Şekil 5.37 6.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları



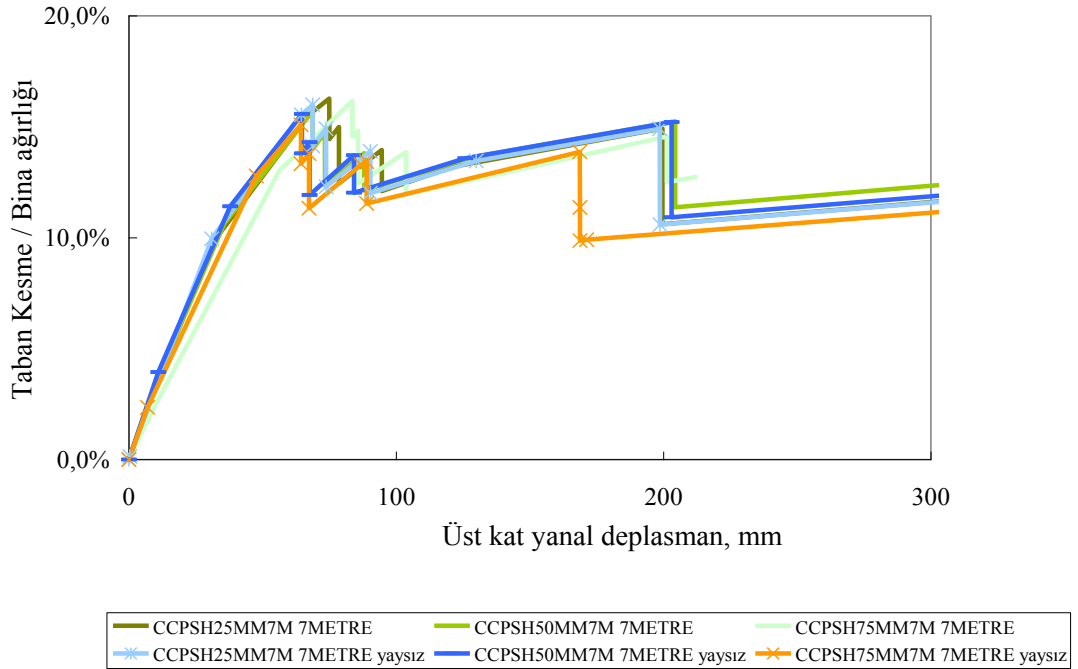
Şekil 5.38 12.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları



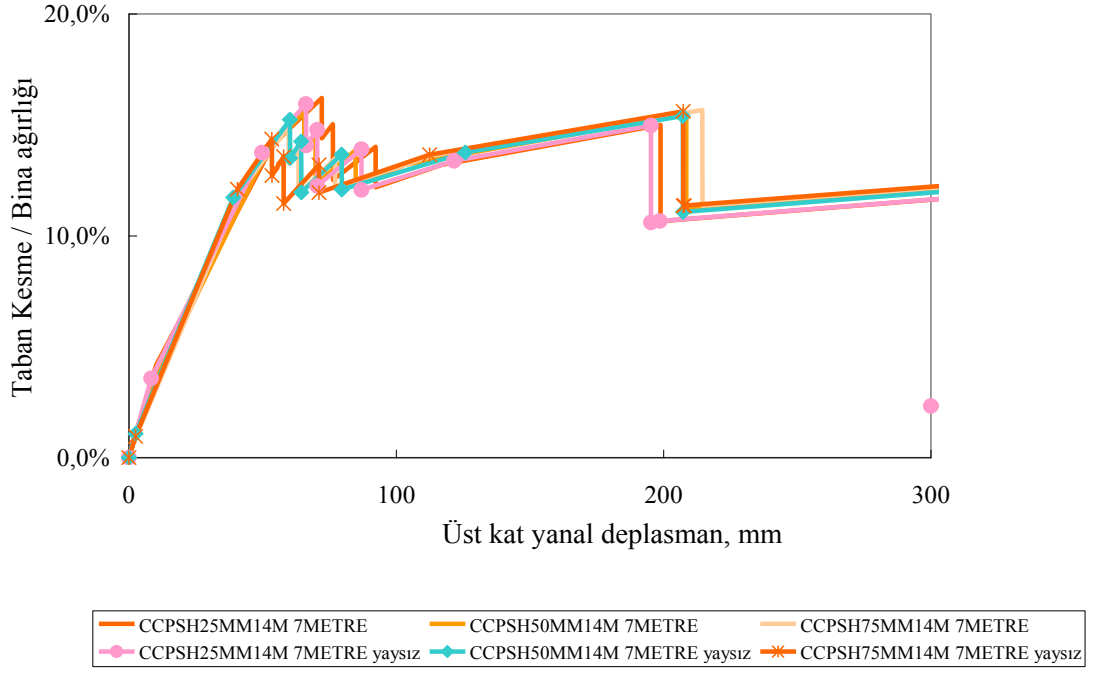
Şekil 5.39 18.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının konumları



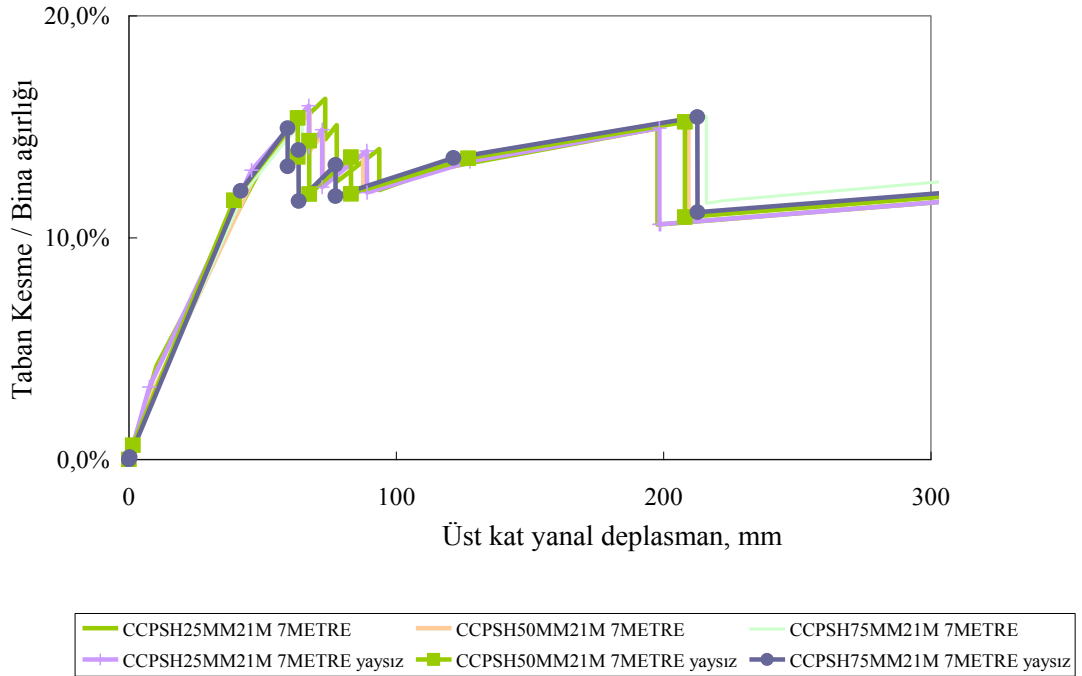
Şekil 5.40 0.0 m merkezde 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



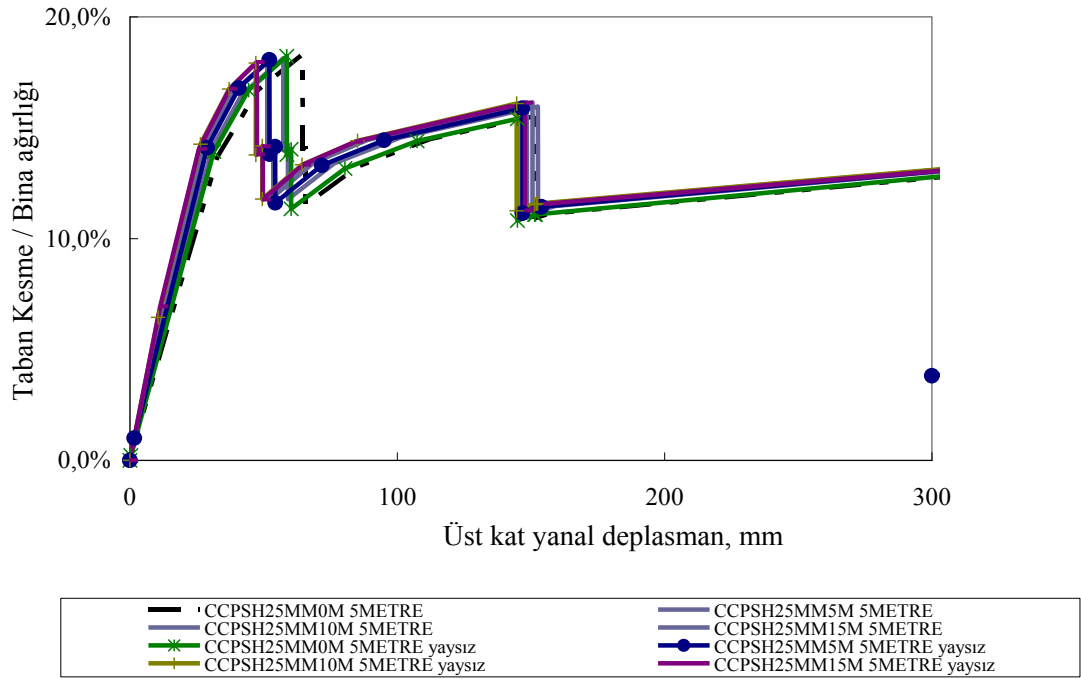
Şekil 5.41 7.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



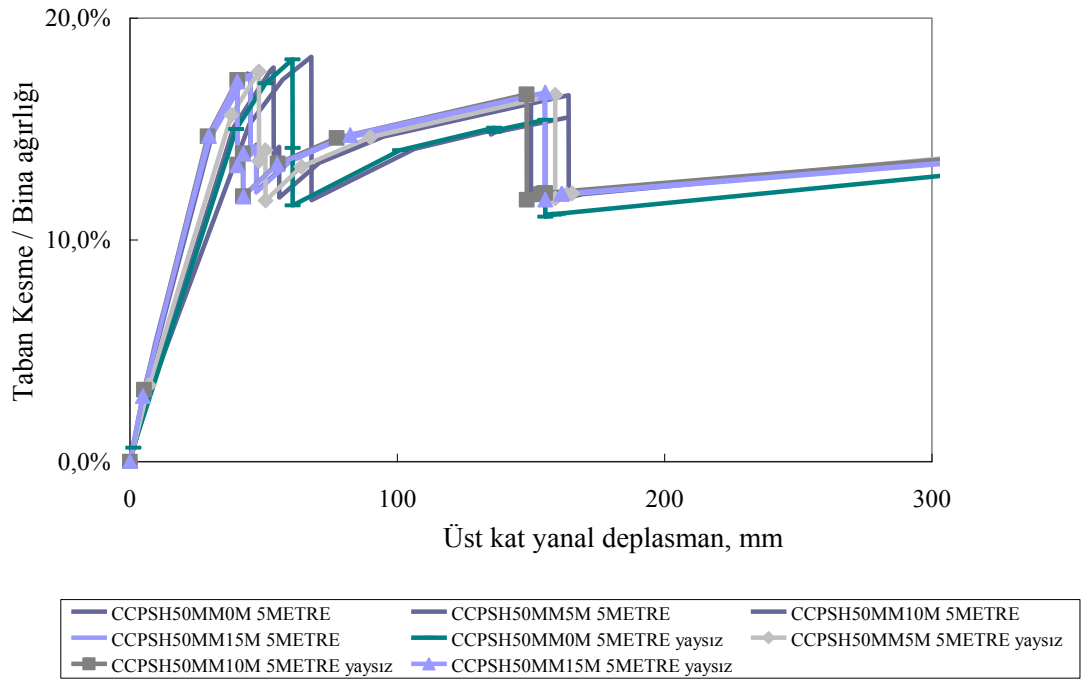
Şekil 5.42 14.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



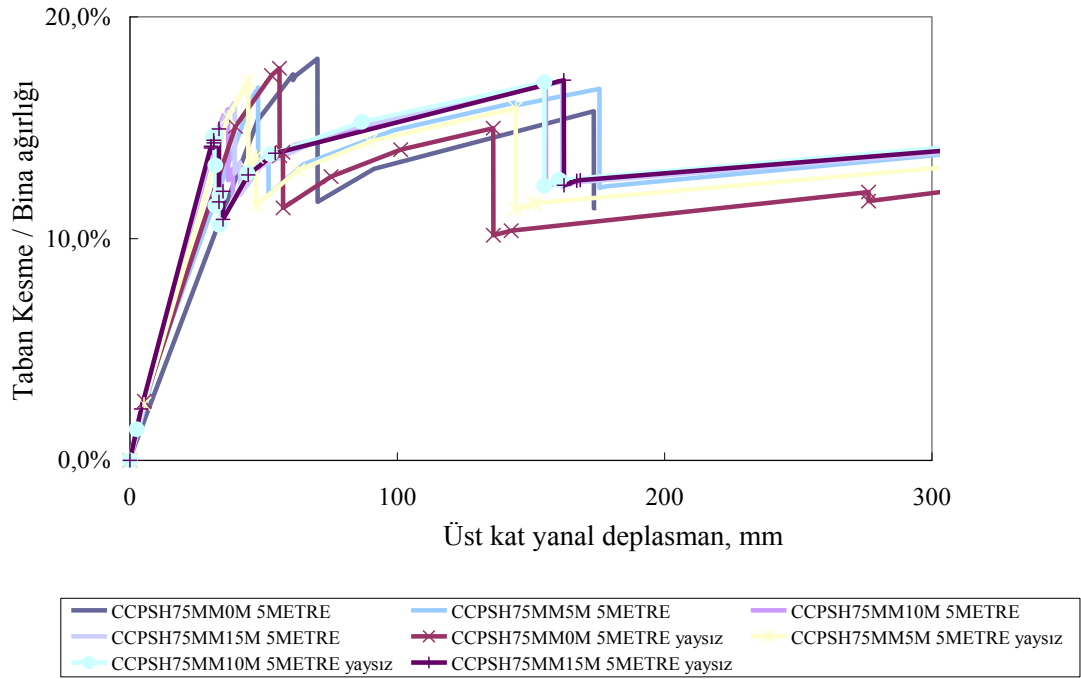
Şekil 5.43 21.0 m kaydırılmış 25-50-75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının konumları



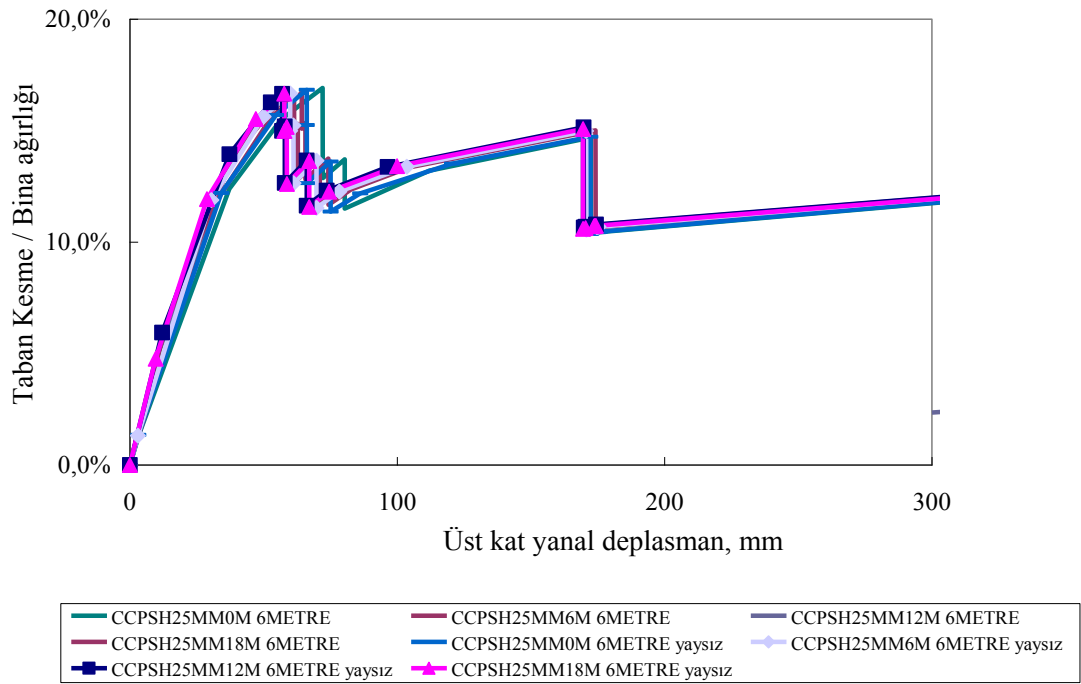
Şekil 5.44 25 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0-5.0-10.0-15.0 m konumları



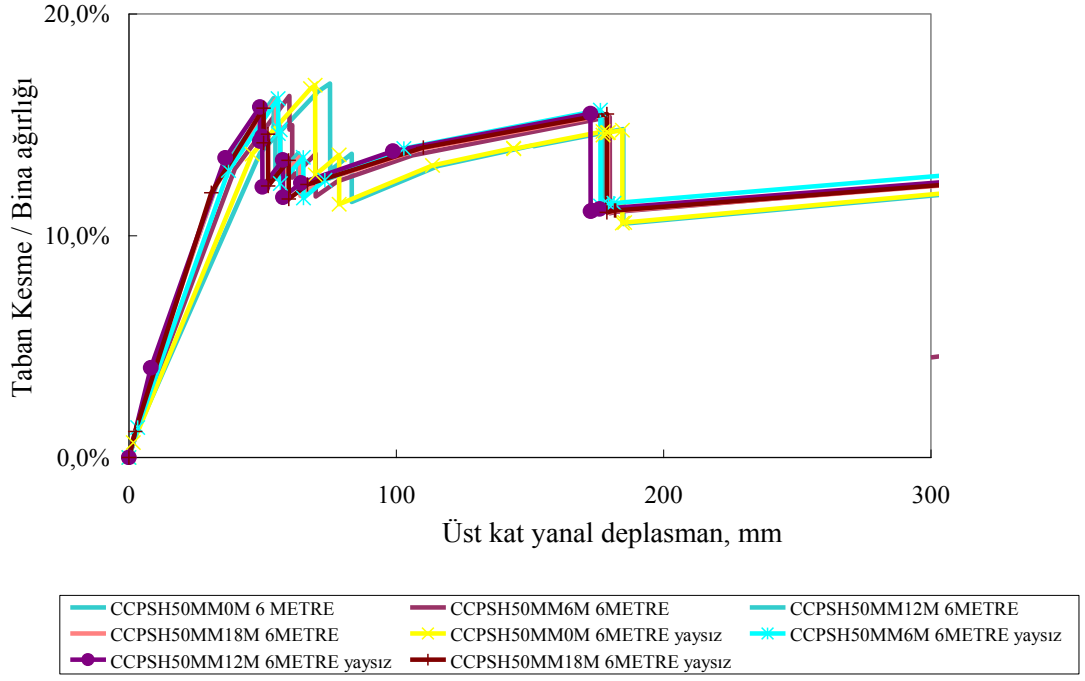
Şekil 5.45 50 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0-5.0-10.0-15.0 m konumları



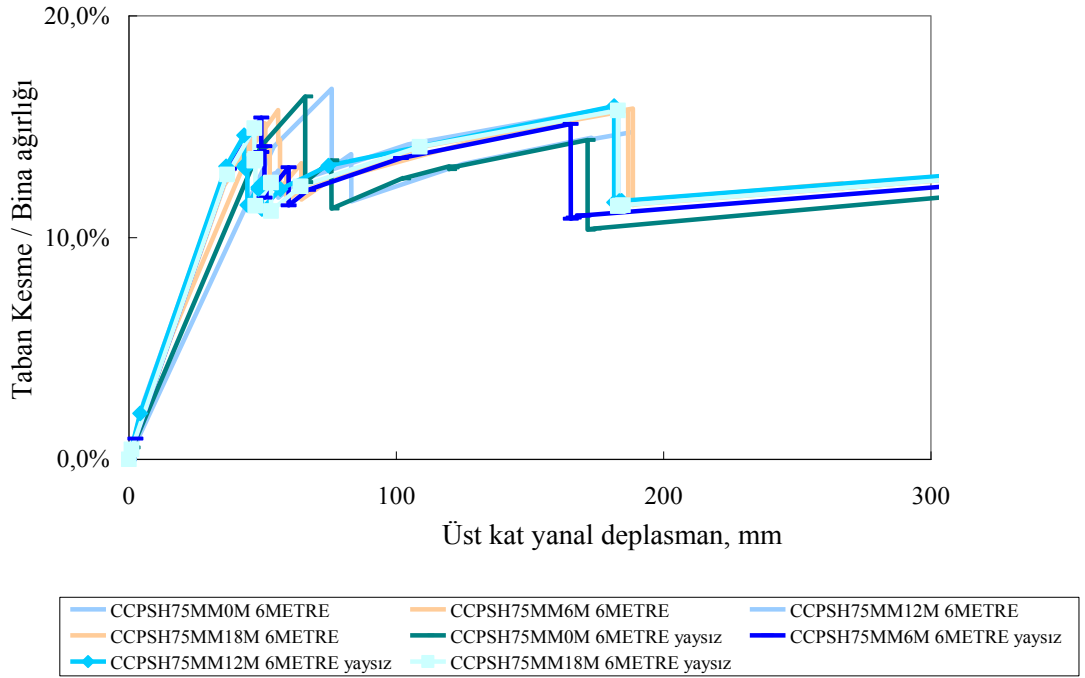
Şekil 5.46 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının 0.0-5.0-10.0-15.0 m konumları



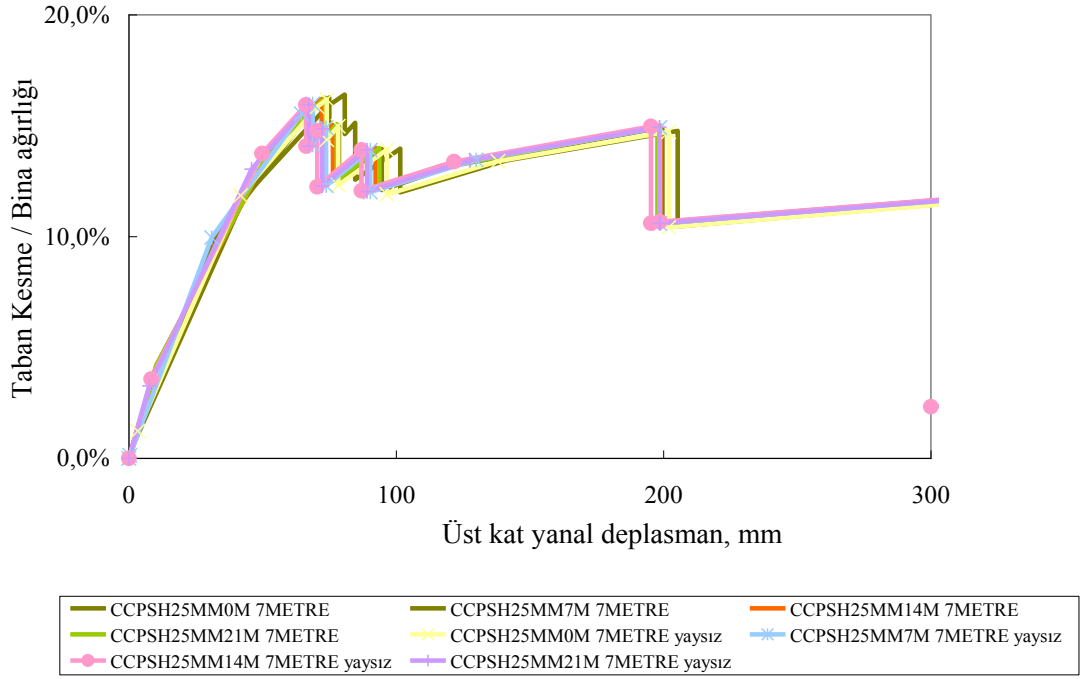
Şekil 5.47 25 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları



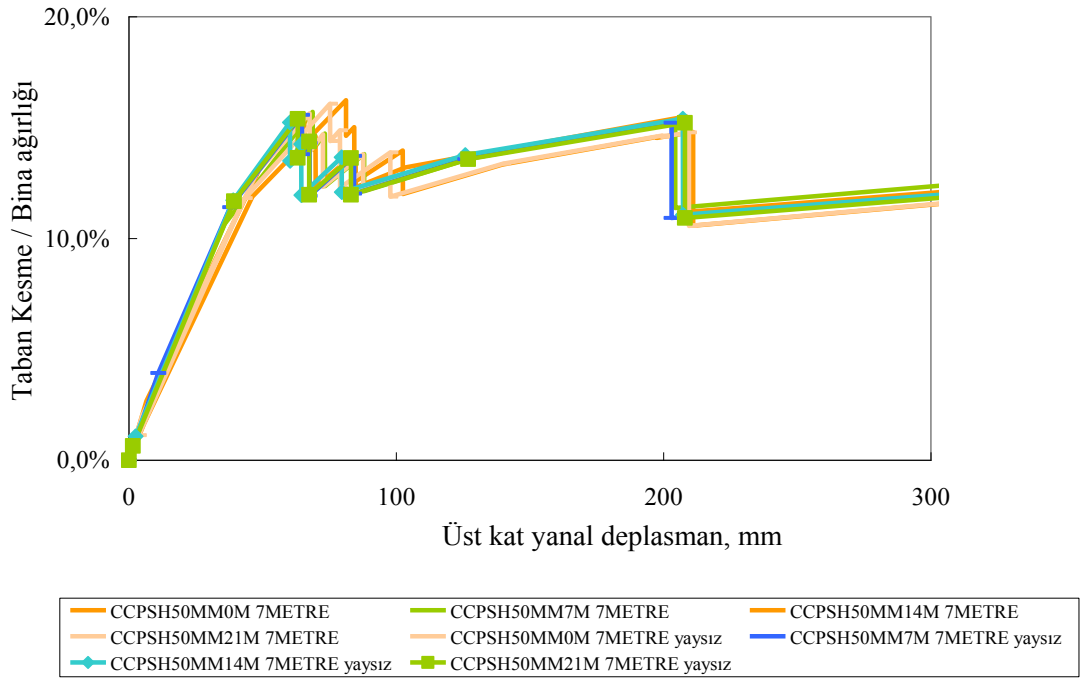
Şekil 5.48 50 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları



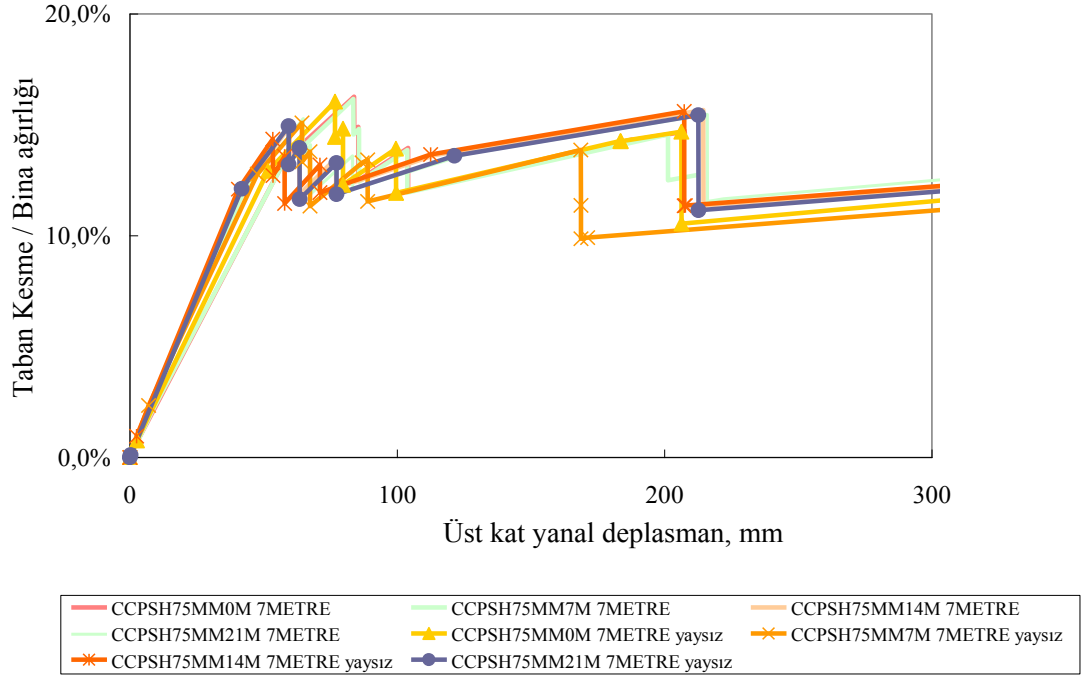
Şekil 5.49 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının 0.0-6.0-12.0-18.0 m konumları



Şekil 5.50 25 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0-7.0-14.0-21.0 m konumları

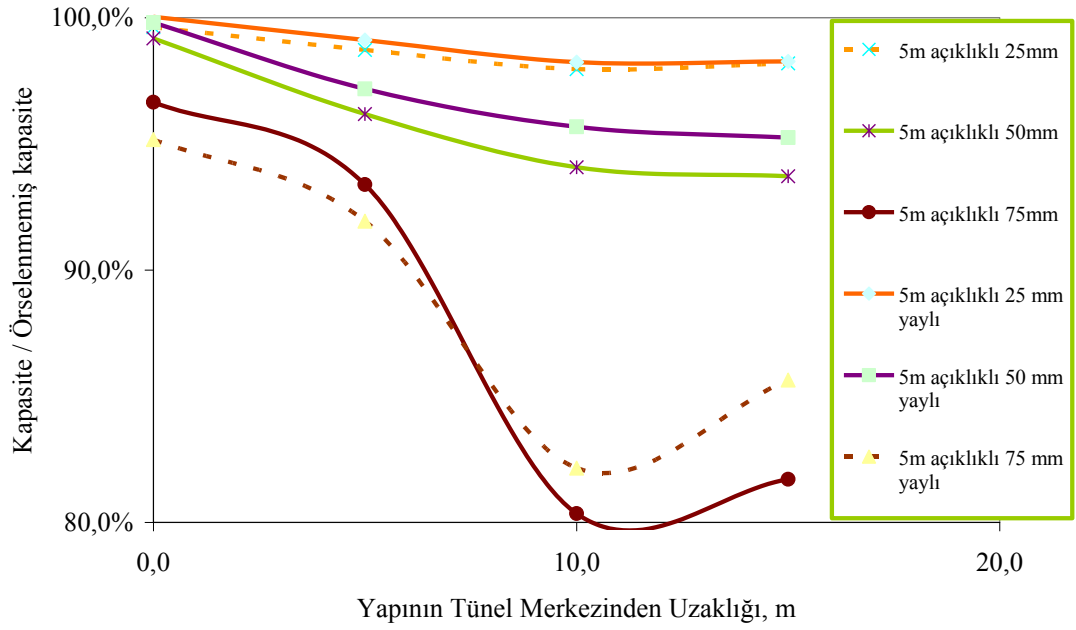


Şekil 5.51 50 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0-7.0-14.0-21.0 m konumları

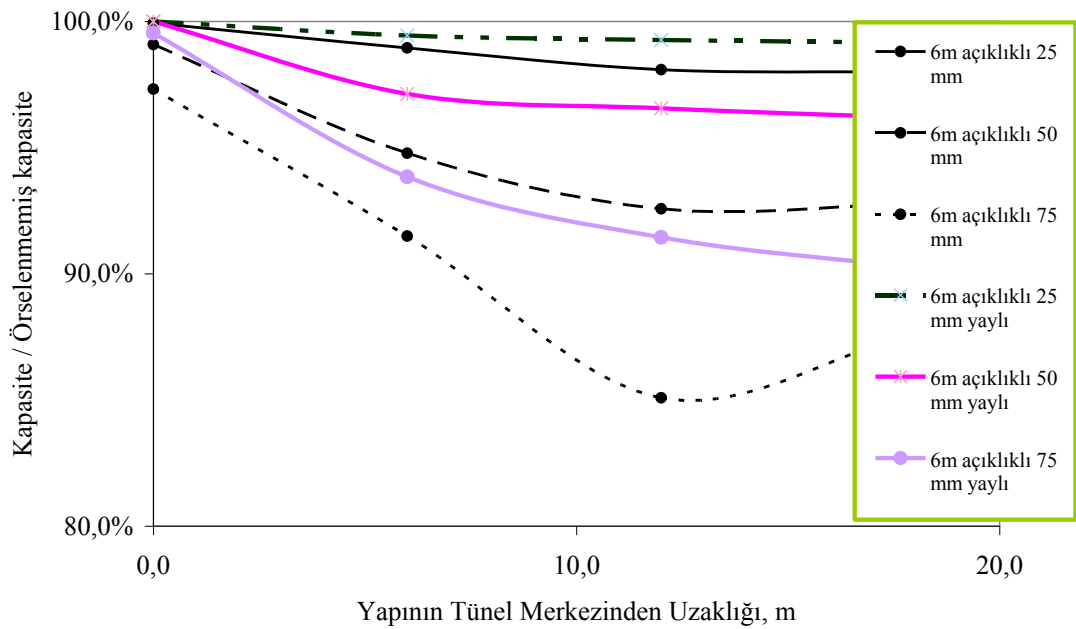


Şekil 5.52 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının 0.0-7.0-14.0-21.0 m konumları

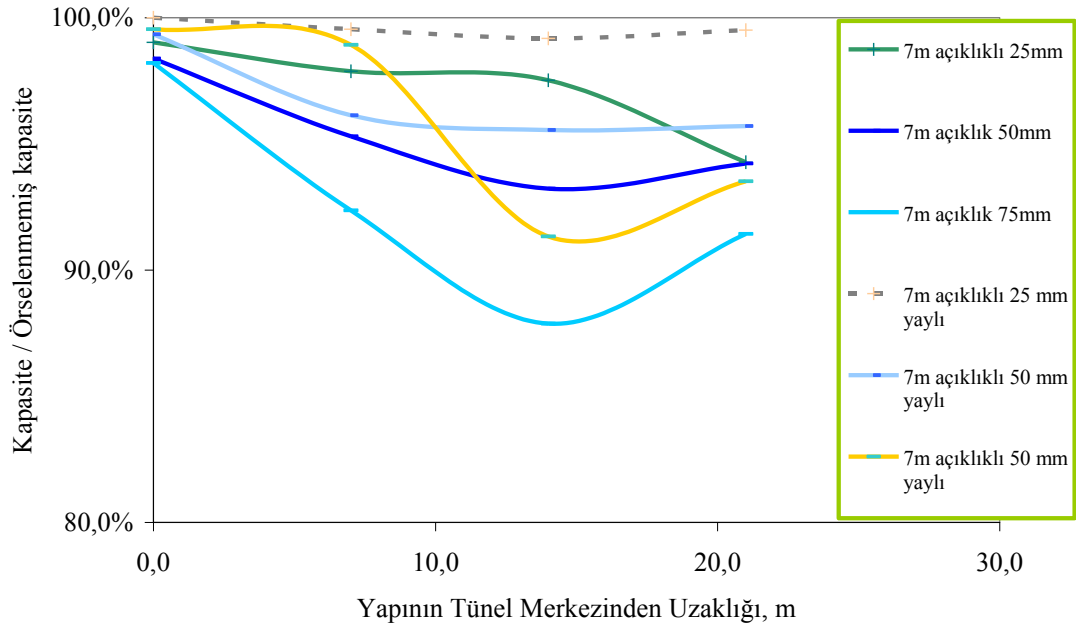
Yukarıdaki grafiklerde görüldüğü üzere temelde yaylı durumda taban kesme kuvvetine karşılık yanal yer değiştirmenin yaysız duruma göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Yani yapının kapasitesi yaylı modelde ankastre temel modeline göre daha azalmış görünmektedir.



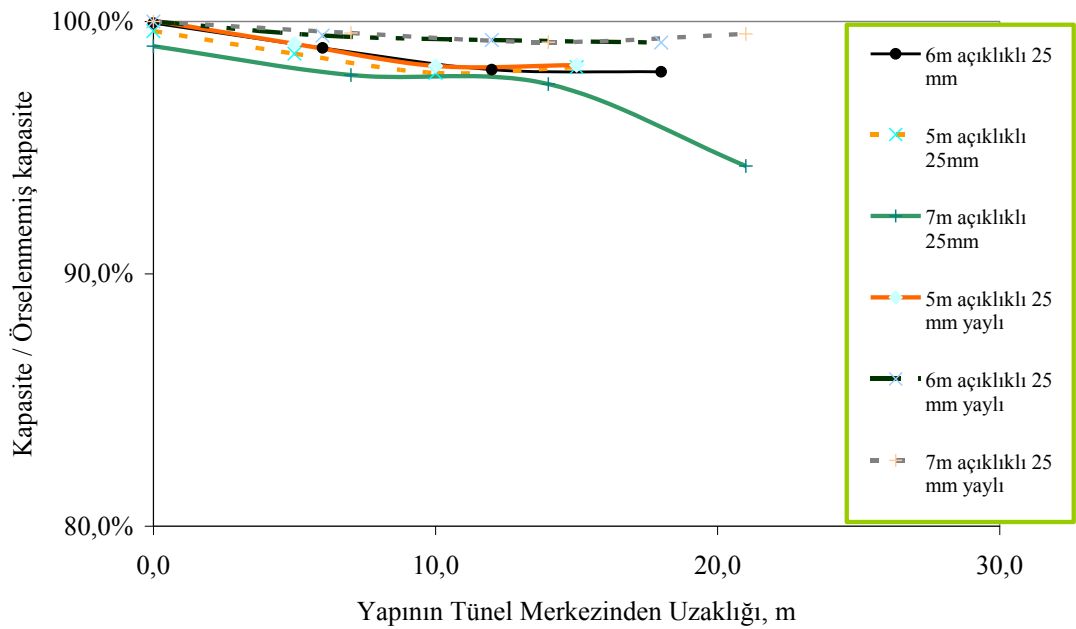
Şekil 5.53 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 5.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma



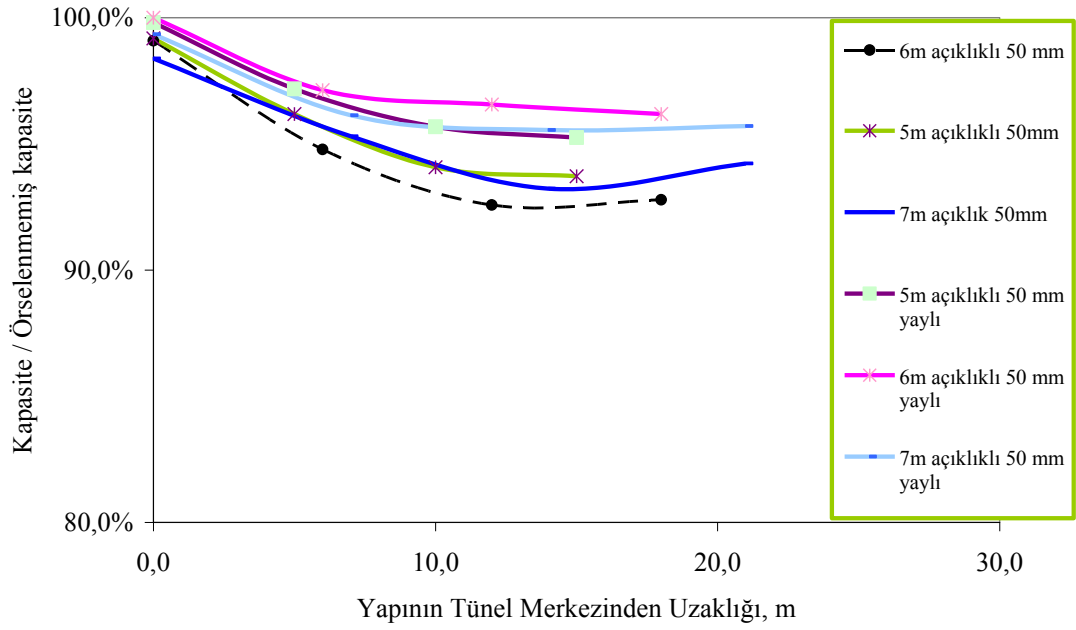
Şekil 5.54 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 6.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma



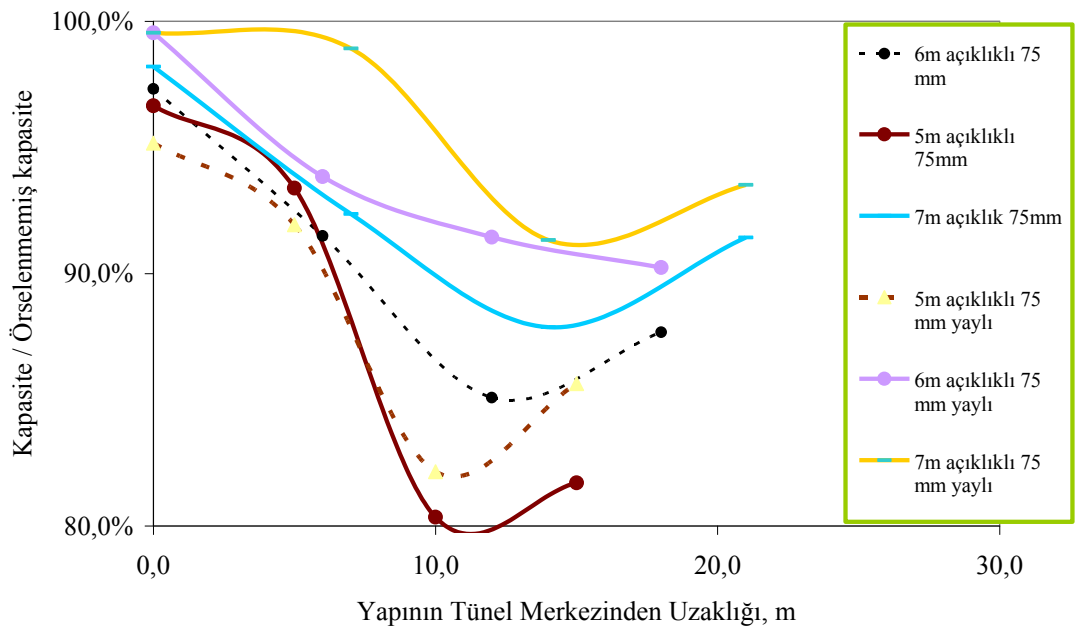
Şekil 5.55 25, 50 ve 75 mm çökme derinliğinde 7.0 m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma



Şekil 5.56 25mm çökme derinliğinde 5m 6m ve 7m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma



Şekil 5.57 50mm çökme derinliğinde 5m, 6m ve 7m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma



Şekil 5.58 75mm çökme derinliğinde 5m, 6m ve 7m açıklıklı yapının çukur üzerindeki konumuna ve yay durumuna göre deprem dayanımındaki azalma

6. SONUÇ ÖNERİLER

Bu çalışmada, 1975 deprem yönetmeliğine göre yapılmış betonarme çerçeve yapılarda, tünel inşaatı neticesinde oluşan farklı yüzey oturmaları neticesinde oluşacak sismik dayanım değişiklikleri sayısal olarak irdelenmiştir. Analizlerde, tünel kazısı neticesinde oluşan yüzey çukuru, İstanbul için oldukça tipik olduğu varsayılan 60.0 m genişlik seçilmiştir. Diğer yandan, yapılar yine İstanbul'daki bilhassa 1975 – 2000 dönemi arası konut amaçlı inşa edilmiş yapıları temsil ettiği düşüncesiyle 5 katlı ve 5.0, 6.0, 7.0 m kiriş açıklığına sahip 4 açıklı yapılar olarak tasarlanmıştır. Yapılar oturmaların etkisinin gözlenmesi amacıyla çukur üzerinde farklı noktalarda konumlandırılmıştır. Yüzey çukurunda azami oturma olarak ise yine İstanbul'daki tünel inşaatları için oldukça tipik değerler olan 25, 50 ve 75 mm seçilmiştir. Çalışma da analizler, statik doğrusal olmayan itme yöntemi ile yapılmıştır.

Yapılar, tünel üzerindeki konumlarına göre değerlendirildiğinde 1.konumdaki dayanım bütün durumlar için en yüksek olduğu görülmüştür. Yapılar 2. 3.ve 4. konumlara yerleştirildiğinde dayanımların genel olarak azaldığı belirlenmiştir. Ancak 25mm çökme derinliğinde yapıların 3.ve 4. konumlardaki grafikleri bir birine çok yakın değerlere sahiptir. Bunun yanında 50 ve 75 mm çökmelerde 3. ve 4. konumlarda farklılıklar oluşmuştur. Bunun sebebi 1. konumdaki oturma profilinin U şeklinde simetriye sahip olması yapıları daha az etkilemiştir. Diğer konumlardaki oturma profili ise şev etkisi göstermiş olup çarpıklığa neden olmuştur. Dolayısıyla çökme derinliği arttıkça bu çarpıklık daha belirgin hale gelmiştir. Ayrıca açıklık miktarının artması yapının oturma profili üzerindeki yerleşimini daha geniş sınırlarda tuttuğundan konumlara göre yapı kapasitesindeki değişiklik büyük açıklıklarda daha az hissedilir olmuştur. Ancak yapıların sadece kiriş açıklığı yönünden kıyaslanması göstermiştir ki; aynı çökme derinliğinde büyük açıklıklı yapılar daha az dayanım göstermiştir. Yani açıklık büyüdükçe dayanım azalmakta fakat tünel üzerindeki konumuna göre daha az farklılık göstermektedir.

Ayrıca yapı zemin etkileşiminin daha iyi incelenmesi açısından temelde kolon altlarına elastik yay tanımlaması yapılmış ve elastik yaylar ilgili kolonun temele bağlanan düğüm noktasında tanımlanmıştır. Temelde yaylı durumda taban kesme kuvvetine karşılık yanıl yer değıştirmelerin yaysız duruma göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Yani yapı zemin ilişkisi gerçeğe daha yakın modellendiğinde görülmüştür ki, zemininin esneme yeteneği oturmelerde meydana gelen kapasite azalmasını olumlu yönde etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan değlendirmeler deneysel formüller yardımı ile analitik hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Konunun daha derin irdelenmesi için deneysel olarak ele alınması ve elde edilen sonuçların teorik sonuçlar ile karşılaştırılması konuya derinlik kazandıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Vardar M. 1994. Metro Tünellerinde Duraylılığın Korunması ve Sağlanması Sağlamlaştırma-Destekleme-İyileştirme. Ulaşımında Yeraltı Kazıları I. Sempozyumu (Genişletilmiş 2.Baskı)
- [2] Arıoğlu E, 2011 yıldız Teknik Üniversitesi Tünel ders notları (Çalışma Nuh Bilgin ve Suat Sevenin özel çalışmasından alınmıştır.)
- [3] Dikmen, S.Ü., Türk, A.M., (2009) "Structural Capacity Loss Of Frame Type Buildings Effected by Tunnel Induced Settlements", CC - 2009, The Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Computing, September 1-4, 2009, Madeira,Portugal
- [4] Yılmaz Ö. Çınar M. (1994)İstanbul Metrosu Tünel Kazı ÇalışmalarındaYaşanan Problemler Ve Çözümleri, Ulaşımında Yeraltı Kazıları I. Sempozyumu (Genişletilmiş 2.Baskı)
- [5] Tüysüz, O., 2003, İstanbul İçin Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü IV. Kuvaterner çalıştay S.164-173
- [6] Alyamaç, K. E. ve Erdoğan, A.S. 2005 Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları Deprem sempozyumu Kocaeli 2005 sayfa 707-715
- [7] Deprem Yönetmeliği, 1975. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İmar ve İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, s. 63.
- [8] Deprem Yönetmeliği, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, s. 37.
- [9] Boscardin, M., Cording, E., (1989), "Building Response to Excavation Induced Settlement", ASCE Journal of Geotech. Eng. 115: 1-21.
- [10] M. P. O'Reilley, B. M. New. "Settlement above tunnels in the United Kingdom, their magnitude and prediction". *Proc. Tunneling* 82, Brighton, pp. 173-181, 1982.
- [11] Wahls, H. E. (1981). "Tolerable Settlement of Buildings", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.107, No. GT11, 1489-1504

- [12] Bjerrum, L. (1963). "Allowable Settlement of Structures", Proceedings, European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Weisbaden, Germany, Vol. III, 135-137
- [13] Polshin, D. E. ve Tokar, R. A. (1957). "Maximum Allowable Nonuniform Settlement of Structures", Proceedings, 4 th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. I, 402-406
- [14] Skempton, A. W. ve MacDonald, A. D. (1956). "Allowable Settlement of Buildings", Proceedings, Institute of Civil Engineers, Part III, Vol.5, 727-768
- [15] Terzaghi, K. ve Peck, R. B. (1948). "Soil Mechanics in Engineering Practice" 1st ed., John Wiley & Sons, Inc. New York, N.Y.
- [16] Institution of Structural Engineers, ISE, (1989). "Soil-Structure Interaction The Real Behavior of Structures", London
- [17] Boone, S.J. (2001). Assessing construction and settlement-induced building damage: a return to fundamental principles. Proceedings, Underground Construction, Institution of Mining and Metalurgy, London, 559 – 570.
- [18] Horoz, A., 1998 "Finite Element of Sheet Pile Walls", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ
- [19] Korkmaz, K. A., 2003, Ankrajlı Betonarme Perdelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yer değiştirme Esaslı Analizi Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 7 Sayı 1- 2, (2003), 49-60
- [20] Augrade, C. E., (1997), "Numerical Modelling of Tunelling Processes for Assessment of Damage to Buildings", Ph.D thesis, Oxford University.
- [21] Ward, W. ve Pender, M. (1981), "Tunneling in Soft Ground-General Report", Proc. of the 10th ICSMFE, 261-275.
- [22] Mair, R., Taylor, R., (1993), "Prediction of Clay Behaviour Around Tunnels Using Plasticity Solutions", Predictive Soil Mechanics (Proc. Wroth Mem. Symp.), Tomas Telford, London, 449-463.
- [23] New, B. ve O'Reilly, M. (1992), "Tunneling Induced Ground Movements: Predicting Their Magnitude and Effects", in J. Geddes, Proc. 4th Int. Conf. Ground Movements and Structures, Pentech Press, London, 671-697.
- [24] Rankin, W. (1988), "Ground Movements Resulting from Urban Tunneling: Prediction and Effects", Proc. 23rd conf. Of the Eng. Group of the Geological Society, London: Geological Society, 79-92.

- [25] Ünlütepe, A., 2003 Tünel İnşaatları Sırasında Uygulanan Ölçme Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Değişik Tünelcilik Metodları İçin Karşılaştırılması 1. Mühendislik ölçmeleri Sempozyumu YTU İstanbul.
- [26] R Ulusay, Ö Aydan 1997 Tünel açma makinalarıyla yapılan kazı işlemlerinin olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilmesi: Takisato Tüneli (Japonya) örneği. jeoloji mühendisliği, Sayı. 51 51-61
- [27] İ. ocak, K. Möröy 2006 Control Of Surface Settelements With Umbrella Arch Medhod In Second Stage Excavations Of Istanbul Metro D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen bilimleri enstitüsü dergisi sayı 12 79-94
- [28] ATC-40, 2000, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.
- [29] FEMA-356, 2000, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, ASCE, Reston, VA, USA.
- [30] FEMA-440, 2005, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA, (ATC-55 Project), Washington, D.C. USA.
- [31] TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [32] TS-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Degerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ da doğdu. 1998 yılında Elazığ Lisesi'ni bitirdikten sonra İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde üniversite eğitime başladı. İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olup, 2007 yılında İstanbul Kültür Üniversitesi Yapı Bölümünde yüksek lisans programına katıldı. 2005 yılında Mühendis olarak başladığı İstanbul Büyükşehir Belediyesindeki görevine halen devam etmektedir.