



Analysis of a Building with Tunnel Formwork System under Vertical and Earthquake Loads According to Different Foundation-Soil Models

Ali Serdar Ecemis ¹, Yavuz Yenginar ¹ and Ilyas Ozkan ¹

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 42090, Konya, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7332-3738, 0000-0002-6916-4068, 0000-0001-9660-8229

Keywords

Fixed-end foundation, Earthquake, Shear wall, Tunnel formwork system, Winkler Method

Highlights

- * The local soil class affects the earthquake accelerations acting on the structure
- * Structure-soil interaction varies depending on Winkler and built-in solutions
- * Local soil class affects foundation base pressure and settlement

Aim

Comparison of Methods Used in Analysis Programs for Foundation Solutions under earthquake loads

Location

Hatay, Türkiye

Methods

Comparison of Foundation Analyses Using the Winkler Method and the Fix-End Method under Earthquake Loads

Results

There are significant differences between the results obtained using the Winkler method and the Fix-End method under earthquake loads

Supporting Institutions

--

Financial Disclosure:

The authors declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest:

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 31.05.2024

Revised: 29.08.2024

Accepted: 26.09.2024

Printed: 30.12.2024

DOI

10.46464/tdad.1493634



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Ilyas Özkan

Email: iozkan@erbakan.edu.tr

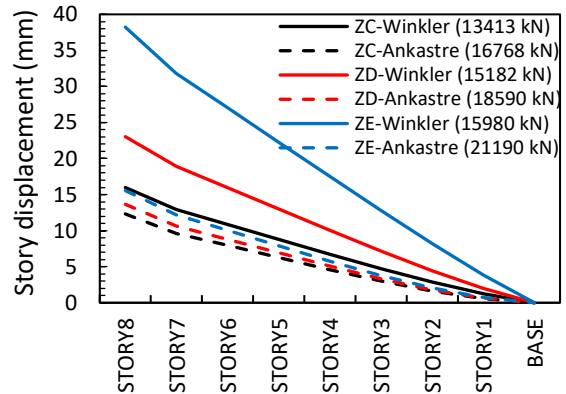


Figure
Center of mass displacement

How to cite:

Ecemis A.S., Yenginar Y., Ozkan I., 2024. Analysis of a Building with Tunnel Formwork System under Vertical and Earthquake Loads According to Different Foundation-Soil Models, Turk Deprem Arastirma Dergisi 6(2), 569-586, <https://doi.org/10.46464/tdad.1493634>.



Düşey ve Deprem Yükleri Altında Tünel Kalıp Sistemli Bir Binanın Farklı Temel-Zemin Modellerine Göre Analizi

Ali Serdar Ecemiş¹, Yavuz Yenginar¹ ve İlyas Özkan¹

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7332-3738, 0000-0002-6916-4068, 0000-0001-9660-8229

ÖZET

Bu çalışmada 8 katlı tünel kalıp taşıyıcı sisteme sahip bina sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Yapı-temel sistemi için üç farklı zemin profili (ZC, ZD, ZE), üç farklı yükleme koşulu (1.4G+1.6Q; G+Q+EX, G+Q+EY) ve iki farklı temel modellemesi (ankastre çözüm, Winkler metodu) dikkate alınmıştır. Analiz sonucuna deprem kuvvetleri, tasarım ivme değerleri, periyodlar, zemin gerilmeleri, temeldeki oturmalar, kat deplasmanları ve perde tasarım kuvvetlerindeki değişim karşılaştırılmıştır. ZC'den ZE zemin sınıfına doğru gidildikçe TA ve TB arasındaki fark büyüdüğü için, ZE sınıfı zemin üzerine yapılacak yapıların maksimum ivmeye maruz kalma ihtimali diğer zemin sınıflarına göre daha fazladır. Ayrıca, ZE zemin sınıfı üzerine inşa edilen yapının periyodu Winkler yönteminde %75 daha fazla bulunmuştur. Bu artış deprem kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Yapıya etkiyen en büyük ivme sırasıyla ZE, ZD ve ZC zemin sınıfında olmuştur. Ankastre çözümde azaltılmış tasarım ivme değerleri Winkler yöntemine göre çözümden daha fazla olmuştur. Bu sebeple yapı-temel etkileşimini dikkate alan çözüm deprem kuvvetleri açısından daha ekonomik çözüm sunmakta fakat deplasmanlar daha fazla olmaktadır. Perde duvarların yalnız Eğik Çatlama Dayanımı (V_{cr}) bile deprem kuvvetinin üzerinde kalmaktadır. Bu durum tünel kalıp sistemlerin deprem etkisinde iyi performans göstermesini açıklamaktadır. ZC zemin sınıfında, düşey yükler altında oluşan gerilmeler ZE zemin sınıfına göre %25 daha fazladır. Deprem durumunda ise bu artış %50'ye kadar çıkmaktadır. Buna karşılık oturma değerleri artmaktadır.

Anahtar kelimeler

Ankastre temel, Deprem, Perde duvar, Tünel kalıp, Winkler Yöntemi

Öne Çıkanlar

- * Yerel zemin sınıfı yapıya etkiyen deprem ivmelerini etkiler
- * Yapı-zemin etkileşimi Winkler ve ankastre çözüme göre farklılıklar göstermektedir
- * Yerel zemin sınıfı temel taban basıncını ve oturmayı etkilemektedir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 31.05.2024
Düzeltilme: 29.08.2024
Kabul: 26.09.2024
Basım: 30.12.2024

DOI

10.46464/tdad.1493634

Sorumlu yazar

İlyas Özkan
Eposta:
iozkan@erbakan.edu.tr

Analysis of a Building with Tunnel Formwork System under Vertical and Earthquake Loads According to Different Foundation-Soil Models

Ali Serdar Ecemiş¹, Yavuz Yenginar¹ and Ilyas Ozkan¹

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 42090, Konya, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7332-3738, 0000-0002-6916-4068, 0000-0001-9660-8229

ABSTRACT

In this study, an 8-storey building with tunnel formwork structural system is analyzed by finite element method. Three different soil profiles (ZC, ZD, ZE), three different loading conditions (1.4G+1.6Q; G+Q+EX, G+Q+EY) and two different foundation models (fixed-end solution, Winkler method) are considered for the building-foundation system. As a result of the analysis, earthquake forces, design acceleration values, periods, soil stresses, settlements in the foundation, story displacements and the change in shear design forces were compared. As the difference between TA and TB increases from ZC to ZE soil class, the structures to be built on ZE class soil are more likely to be exposed to maximum acceleration than other soil classes. Additionally, the period of the structure built on ZE soil class was found to be 75% higher using the Winkler method. This increase leads to a rise in earthquake forces. The largest acceleration acting on the structure was in ZE, ZD and ZC soil classes, respectively. The reduced design acceleration values in the fixed-end solution were higher than the solution according to the Winkler method. For this reason, the solution considering structure-foundation interaction provides a more economical solution in terms of earthquake forces, but the displacements are higher. The oblique cracking strength (V_{cr}) of shear walls alone exceeds the earthquake force. This explains the good performance of tunnel formwork systems under earthquake effects. In the ZC soil class, stresses under vertical loads are 25% higher compared to the ZE soil class. In the event of an earthquake, this increase can reach up to 50%. On the contrary, settlement values increase.

Keywords

Fixed-end foundation, Earthquake, Shear wall, Tunnel formwork system, Winkler Method

Highlights

- * The local soil class affects the earthquake accelerations acting on the structure
- * Structure-soil interaction varies depending on Winkler and built-in solutions
- * Local soil class affects foundation base pressure and settlement

Manuscript

Research Article

Received: 31.05.2024
Revised: 29.08.2024
Accepted: 26.09.2024
Printed: 30.12.2024

DOI

10.46464/tdad.1493634

Corresponding Author

İlyas Özkan
Email:
iozkan@erbakan.edu.tr

1. GİRİŞ

Tünel kalıp sistemler kolon ve kiriş içermeyen, taşıyıcı sistemi sadece betonarme perdelerden ve döşemelerden oluşan taşıyıcı sistem türüdür. Bu sistemler; mimari açıdan değişiklik yapılmasına çok fazla izin verilmemesinden ve sürekli tekrar eden katlardan oluşmasından dolayı konvansiyonel sistemler kadar fonksiyonel olmayabilmektedir. Fakat, tünel kalıp binalar modüler kalıplar ile hızlı inşa edilebilirliği, yüksek katlı yapıların inşasına uygunluğu, düşük maliyeti ve dayanıklılığı sebebi ile birçok ülkede kullanılmaktadır. Deprem tehlikesinin yüksek olduğu Şili, Japonya, İtalya ve Türkiye gibi ülkelerde sıkça kullanılmaya başlanmış ve avantajlarından dolayı kullanımı da her geçen gün artarak daha da popüler hale gelmiştir (Balkaya ve Kalkan 2002, Mohsenian ve Di-Sarno 2024).

Özellikle deprem performansı açısından değerlendirildiğinde yüksek yatay rijitliği sebebi ile üstünlük gösteren bir taşıyıcı sistem türüdür. 1999 yılında yaşanan $M_w=7.4$ Kocaeli ve $M_w=7.2$ Düzce depremlerinde tünel kalıp sistemi ile inşa edilen yapıların üstün performansı görülmüştür (Balkaya ve Kalkan 2003a). Bu yüksek performanslarının görülmesinden sonra o dönemde deprem yönetmeliklerinde yeteri kadar ele alınmamış olan bu sistemler üzerinde araştırmalara ağırlık verilmiştir. Bu yapıların; duvardan-duvara ve duvardan-döşemeye yük etkileşimleri, burulma etkileri, yük aktarım mekanizması ve sismik performansı 2 ve 3 boyutlu doğrusal olmayan analizlerle incelenmiştir. Araştırmalar sonucunda 3 boyutlu analizler ile döşeme-duvar etkileşiminin ve perde duvarlar içindeki boşlukların dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmıştır (Balkaya ve Kalkan 2004).

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden sonra sahada yapılan incelemelerde tünel kalıp sistemlerin başarısı gözlemlenmiştir. Birbirine dik açılarla monte edilen yarım tünellerden oluşan bu sistemde; taşıyıcı perde duvar ve döşeme kalınlıkları katlar arasında farklılık göstermemekte ve aynı seçilmektedir. Tünel kalıp sisteminin konvansiyonel sisteme (kolon-kiriş çerçeve sistemi) göre bir avantajı da perde duvar ve döşeme betonunun aynı anda dökülmesi sebebi ile soğuk derz oluşmamasıdır. Bu sistemler ile ilgili olarak sistemin doğal titreşim periyodlarının ve dinamik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Goel ve Chopra 1998, Lee ve diğ. 2000, Balkaya ve Kalkan 2003b, El-saad ve Salama 2017, Hadzima-Nyarko ve diğ. 2022). Fakat, farklı zemin özelliklerine sahip arazi koşullarında tünel kalıp sistemlerinin deprem performansının araştırıldığı çalışma sayısı sınırlıdır.

Tünel kalıp sistemin çok sayıda avantajı olmasına rağmen tasarımda çekme gerilmeleri, perde donatı oranları gibi dikkat edilmesi gereken kritik noktalar bulunmaktadır. Özellikle düşük aksel yükün etkisi ile düşük boyuna donatı oranı kullanıldığında donatının kopması sonucu gevrek eğilme göçmesi gözlemlenmektedir (Yüksel ve Kalkan 2007, Kalkan ve Yüksel 2008). Bununla birlikte özellikle döşeme-perde birleşimlerinin tünel kalıp sistemlerin zayıf noktasını oluşturduğu ve bu birleşim noktaları için özel detaylandırma gerektiği belirtilmiştir (Mohsenian ve diğ. 2024). Analiz metodlarının gelişmesine, yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına rağmen tünel kalıp yapıların kendine özgü davranışları sebebiyle analizleri ve tasarımları için yapılan kabuller belirsizliğini korumaktadır.

Mohsenian ve Di-Sarno (2024) tarafından yapılan çalışmada 5 ve 10 katlı olarak dikkate alınan tünel kalıp sistemli yapılarda 2 farklı yaklaşımla sistemin doğrusal olmayan davranışları araştırılmıştır. Genelde simetrik olarak inşa edilen yapılar olmasına rağmen asimetric olarak da yapılan tünel kalıp yapılar bulunmaktadır. Bu tür asimetric tünel kalıp sistemlerde burulma düzensizliği oluşsa da yüksek yanal rijitlikleri nispeten düşük burulma rijitliğini telafi etmiş ve sismik etkiler altında sistem yine yüksek performans göstermişlerdir (Aval ve Asayesh 2017). Bu tür sistemlerde inşaat yapım tekniği sebebi ile taşıyıcı duvarların planda merkeze yoğunlaşması, bina cephelerinde perde kullanılamaması da burulma titreşim modunun diğer ötelenme modlarından önce oluşmasına sebep

olmaktadır. Bununla birlikte planda düzensiz kütle dağılımı da burulma etkisini arttıran sebeplerden biridir.

Deprem mühendisliğinde yapı-zemin etkileşimi, zeminin deprem dalgalarına verdiği tepkinin yapıya nasıl iletileceğini ve yapının bu dalgalara nasıl yanıt vereceğini belirlemesi açısından kritiktir. Literatürde, yumuşak zeminlerde bulunan yapıların sert zeminlere göre daha büyük deformasyonlar yaşayabileceği belirtilmektedir (Stewart ve diğ. 1999). Yapı-zemin etkileşimi bazen yapının gerilme ve deformasyonlarını azaltarak avantaj sağlarken, heterojen zemin koşullarında düzensiz oturma ve dönmelere de neden olabilir (Mylonakis ve diğ. 2006). Günümüzde, sonlu elemanlar yöntemi (FEM) gibi ileri sayısal modelleme teknikleriyle yapı-zemin etkileşimleri daha iyi anlaşılmaktadır. Böylece daha güvenli ve ekonomik tasarımlar geliştirilmektedir (Zienkiewicz ve diğ. 2005).

Kütle düzensizliğinin olduğu bir yapıyla ilgili çalışmada, kütle merkezi planda %20 kaydırılmış olmasına rağmen sistem kullanım güvenlik seviyesini sağlamıştır (Mohsenian ve diğ. 2021). Yüksek ağırlıkları ve yüksek rijitlikleri sebebi ile bu tür yapıların modellenmesinde zemin-yapı etkileşiminin de dikkate alınması gerekmektedir (Mohsenian ve diğ. 2019). Betonarme yapılarda genel olarak zemin-yapı etkileşimi ve zemin modelleme yöntemleri yapı analiz sonuçlarında farklılıklara sebep olmaktadır (Özer ve Yüksel 2021, Özkan ve diğ. 2023, Yenginar ve Özkan 2023). Zemin sınıfı yapıya etki edecek deprem kuvvetini belirleyen dolayısı ile yapı tasarımını şekillendiren en önemli parametrelerden biridir. Bu amaçla saha etkisinin de dikkate alındığı tasarım spektrumunun zemin sınıfına bağlı olarak değerlendirmelerini içeren çalışmalar farklı yönetmeliklere göre karşılaştırmalı olarak yapılmıştır (Guzel ve Güzel 2024). Temeller üst yapıdan gelen statik ve dinamik yükleri zemine aktarmak için tasarlanan taşıyıcı sistem elemanlardır. Bu yüklerde oluşan tüm kombinasyonlar altında temelde oluşan gerilmelerin zeminin taşıma kapasitesinden küçük olması gerekmektedir. Aksi durumda yüzeysel (Soğancı ve diğ. 2023, Soğancı ve diğ. 2024, Soğancı ve Orman 2024) ya da derin zemin iyileştirme yöntemleri (Olgun ve diğ. 2019, Yenginar ve diğ. 2021, Yenginar ve Olgun 2023, Yenginar ve diğ. 2024, Yenginar ve Olgun 2024) kullanılarak zeminlerin kapasitelerinin artırılması gerekmektedir.

Tünel kalıp sistemi, geleneksel kalıplara kıyasla yüksek kalite, daha kısa döşeme döngüsü ve uzun vadede maliyet avantajları sunmaktadır. Başlangıç yatırımı ve günlük operasyon maliyetleri daha yüksek olmasına rağmen tekrar kullanılabilirliği ve hızla tamamlanabilmesi nedeniyle büyük, çok katlı projelerde daha ekonomik olmaktadır. Tünel kalıp, 7 kat ve üzeri binalarda özellikle maliyet ve zaman tasarrufu sağlamaktadır (Chaudhary 2017).

Bu çalışmada 8 katlı ve tünel kalıp sistemle projelendirilmiş bir yapı dikkate alınmıştır. Yapının farklı zemin koşullarındaki deprem performansını incelemek için ZC, ZD ve ZE yerel sınıfına sahip zeminler tanımlanmıştır. Yapı-zemin etkileşimindeki dinamik zemin parametreleri belirlemek için 6 Şubat 2023 tarihindeki meydana gelen depremlerden en çok etkilenen yerleşim yerlerinden biri olan Hatay ilinde bir yer seçilmiştir. Yapının deprem performansı hem ankastre temel kabulü hem de zemin-temel etkileşimi dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Çalışmada uygulamada da genel olarak kullanılan lineer analiz yöntemi seçilmiş, temeller ise Winkler metodu ile modellenmiştir. Analiz sonucuna deprem kuvvetleri, tasarım ivme değerleri, periyodlar, zemin gerilmeleri, temeldeki oturmalar, kat deplasmanları ve perde tasarım kuvvetlerindeki değişim karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların uygulamada yapı projelendirme alanında çalışan mühendislere faydalı olması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1) Saha Koşulları

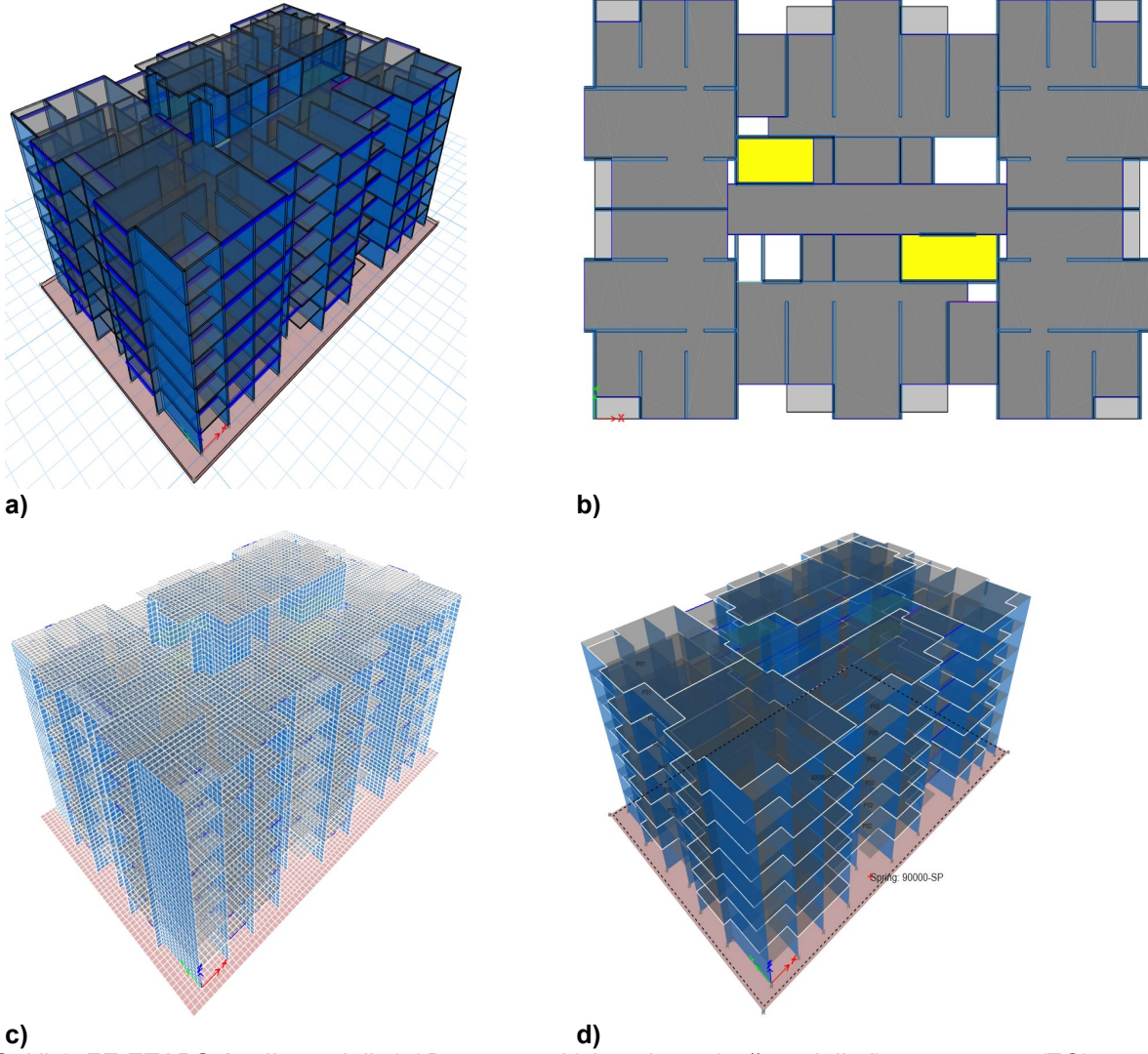
Çalışmada analiz için 6 Şubat 2023 tarihindeki Kahramanmaraş merkezli depremlerde en çok etkilenen illerden biri olan Hatay'da bir lokasyon (enlem: 36.198535°; boylam: 36.159735°) seçilmiştir. Seçilen lokasyon Hatay'da Asi Nehri kenarında yer almaktadır. Hatay il merkezinde yer alan yerleşim alanlarının büyük bir kısmı zayıf zemin tabakaları üzerinde yer almaktadır (Korkmaz 2006). Bu nedenle, seçilen lokasyonda yer alan bina altında, sonsuz derinliğe sahip sıkı kum, orta sıkı kum ve gevşek kum olmak üzere üç farklı zemin profili tasarlanmıştır. Bu sayede sahada karşılaşılma ihtimali en fazla olan ZC, ZD ve ZE sınıfına sahip zeminler dikkate alınarak zemin etkisi geniş bir yelpazede değerlendirilmiştir. Üç farklı zemin tabakasına ait zemin özellikleri ve sismik parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Zeminlerin geoteknik ve sismik özellikleri
Table 1: Geotechnical and seismic properties of local soils

Özellik	Değer		
	Sıkı kum	Orta sıkı kum	Gevşek kum
Standart penetrasyon vuruş sayısı, N_{SPT}	50	20	5
Doğal yoğunluk, γ_n (kN/m ³)	18	17.3	16.5
Poisson oranı, ν	0.4	0.3	0.2
Ödometre modülü, E (MPa)	10.35	27.6	55.2
Yatak katsayısı, k (kN/m ³)	90000	36000	9000
Yerel zemin sınıfı (TBDY 2018)	ZC	ZD	ZE
Yerel zemin sınıfı (EN 1998-1 2004)	B	C	D
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{DS}	1.2709	1.1399	1.1149
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_S	1.059	1.059	1.059
1 sn periyot için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_1	0.276	0.276	0.276
1 sn periyot için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, S_{D1}	0.414	0.5652	0.8059

2.2) Üstyapı Özellikleri

Çalışmada, tünel kalıp imalat tekniğiyle inşa edilmiş bir binanın depreme karşı performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Deprem bölgesinde bulunan bir binanın proje bilgilerine ulaşılmasının zor olması nedeniyle, gerçekte yapılmış bir binanın malzeme, boyutlandırma ve geometri özellikleri kullanılmıştır. Seçilen binanın Hatay'daki farklı zemin koşullarındaki deprem performansı değerlendirilmiştir. Yapı, 7 normal kat ve merdiven ile asansör makine dairesi olmak üzere toplam 8 kattan oluşmaktadır. Binanın 8. katı merdiven ve asansör makine dairesidir. Binaya ait 3 boyutlu sonlu eleman analiz modeli, tip kat planı, sonlu eleman ağ modeli ve zemin yatak katsayısı (ZC zemin sınıfı için) Şekil 1'de gösterilmiştir. Tip kat yükseklikleri 2.79 m olan binada döşeme kalınlıkları 15 cm, taşıyıcı duvar perde kalınlıkları 20 cm, radye temel kalınlığı ise 50 cm olarak belirlenmiştir. Yapıya ait genel bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1: FE ETABS Analiz modeli a) 3D görünüş, b) kat planı, c) ağ modeli, d) yay ataması (ZC)
 Figure 1: FE ETABS Analysis model a) 3D view, b) floor plan, c) mesh model, d) area spring (ZC)

Tablo 2: Yapının analiz parametreleri
 Table 2: Analysis parameters of the building

Koordinatlar	Enlem: 36.198535° ; Boylam: 36.159735°
Kat sayısı	8 (7 Normal kat + merdiven ve asansör makine dairesi)
Kat yüksekliği (m)	2.79
Yapı yüksekliği (m)	19.23
Yapı boyutları (m)	38.3 x 24.9
Analiz tipi	Yatay – Düşey (doğrusal)
Döşeme kalınlığı (m)	0.15
Perde kalınlığı (m)	0.20
Ölü yük (t/m ²)	0.200
Canlı yük (t/m ²)	0.200 (döşeme) – 0.500 (balkon)
Beton sınıfı	C30/37 ($f_{cd}=200 \text{ kg/cm}^2$; $f_{ctd}=12.5 \text{ kg/cm}^2$)
Donatı sınıfı	B420C

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY 2018) taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan binalarda Denklem 1'de verilen şartların her ikisinin de sağlanması durumunda perde kalınlığının en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 20 cm'den az olmaması gerektiği belirtilmiştir.

$$\frac{\sum A_g}{\sum A_p} \geq 0.002 \quad (1a)$$

$$\frac{V_t}{\sum A_g} \geq 0.5 f_{ctd} \quad (1b)$$

Denklem 1'de $\sum A_g$ herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanını, $\sum A_p$ binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamını, V_t binaya etkiyen toplam deprem yükünü (taban kesme kuvveti) ifade etmektedir. TBDY (2018)'de verilen bu şartlar yapıda kullanılan perde alanın çok fazla olması ile sağlanabilecek şartlar olduğu için genelde tünel kalıp sistemler için uygundur. Tablo 5'te Denklem 1'de verilen oranlar tip katlar için sunulmuştur. Tablonun incelenmesinden Denklem 1'de verilen her iki şartın sağlandığı görülebilir.

Analizlerde TBDY 2018'de kullanılması zorunlu olan etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır. Buna göre yatay ve düşey taşıyıcı elemanlar için alınan etkin kesit rijitlik çarpanları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Etkin kesit rijitliği çarpanları
Table 3: Effective section stiffness multipliers

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	0.50	0.50
Perde	0.25	0.25
Döşeme	0.25	0.25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Döşeme	0.25	1.00

2.3) Analiz Aşamaları

Bu çalışmada 8 katlı tünel kalıp taşıyıcı sisteme sahip bina sonlu elemanlar metodunu kullanan ve sektörde yaygın olarak tercih edilen ETABS programı ile analiz edilmiştir (ETABS 2003). Bina analizinde üç farklı zemin profili (ZC, ZD, ZE), üç farklı yükleme koşulunda (1.4G+1.6Q; G+Q+E_x, G+Q+E_y) ve iki farklı temel modellemesi (ankastre çözüm, Winkler metodu) olmak üzere toplamda 18 adet analiz yapılmıştır.

Sonlu elemanlar metodunu kullanan programlar yapı–zemin etkileşiminin detaylı olarak modellenebilmesine imkân verse de uygulamada bina analizlerinde temel modellemesi yapılırken Winkler metodu veya ankastre çözüm dikkate alınmaktadır.

Ankastre çözümde yapı–zemin etkileşimi dikkate alınmamaktadır. Ankastre çözümde kolon, perde gibi düşey taşıyıcı elemanlar temele temas eden konsol mesnet gibi düşünülmektedir. Ankastre çözümde zemin yatak katsayısına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Winkler yönteminde temelin altındaki zemin bir grup yay tarafından temsil edilmektedir. Temeli temsil eden her bir yay birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Analizler sırasında yay sabitlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yay sabiti olarak zemin yatak katsayısı değeri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada her bir zemin profili (ZC, ZD, ZE) için zemin yatak katsayısı değerleri sırasıyla 90000, 36000 ve 9000 kN/m³ alınmıştır. Bu değerler SPT-N değeri kullanılarak Denklem 2 (Scott 1984) üzerinden hesaplanmıştır.

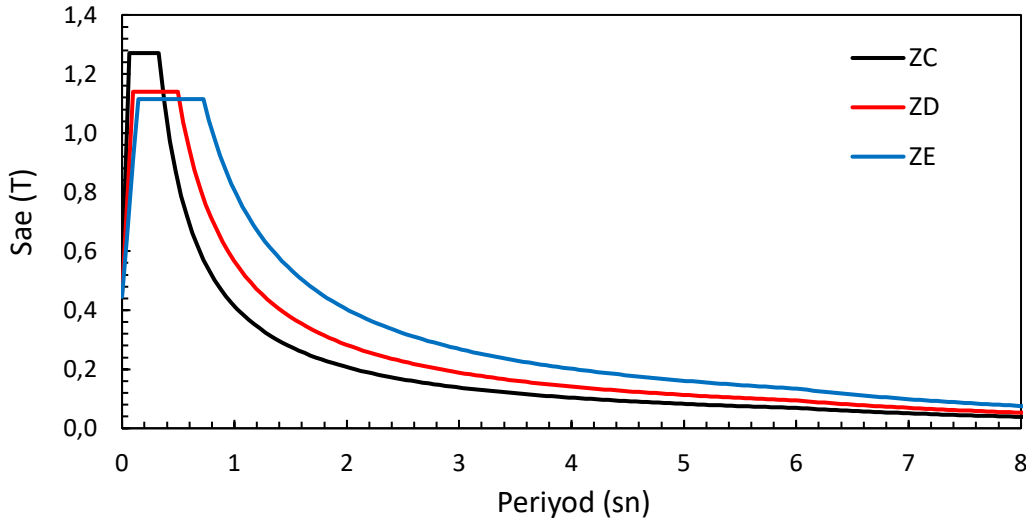
$$k = 1800 \cdot N \quad (kN/m^3) \quad (2)$$

Analizlerde TBDY (2018)'de tanımlanmış olan etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda elastik tasarım spektrum eğrileri, bina periyodu, katlara gelen deprem kuvvetleri, katlarda oluşan yatay deplasmanlar, kesme kapasitesi, perde iç kuvvetleri, zeminde oluşan gerilmeler ve oturmalar incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda ankastre çözüm ve Winkler metodu karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1) Elastik Tasarım Spektrum Eğrileri ve Periyotlar

Analiz edilen yapıya ait yatay elastik tasarım ivme spektrum eğrileri (enlem: 36.198535; boylam: 36.159735) zemin sınıflarına göre Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Zemin sınıflarına göre elastik tasarım ivme spektrumları
Figure 2: Elastic design acceleration spectra according to soil classes

T_A ve T_B köşe koordinat değerleri incelendiğinde en büyük ivme değerine ZC zemin sınıfında ulaşılmaktadır. İvme değerleri ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe azalmaktadır. Bununla birlikte T_A ve T_B köşe koordinatları arasındaki fark ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe açılmaktadır. Tünel kalıp sistemli yapılarda tüm duvarlar taşıyıcı olduğu için yapı periyodları (T), çerçevesiz yapılara göre çok daha küçük olmaktadır. Analiz edilen yapıya ait periyod değerleri ve bu değerlere karşılık gelen yatay elastik tasarım ivmeleri Tablo 4'te verilmiştir. Tünel kalıp sistemlerde genelde 1. mod burulma modu olmaktadır. Taban kesme kuvvetinin hesabında X ve Y yönlerindeki periyod değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 4'te zemin sınıflarına bağlı olarak hem ankastre analiz hem de Winkler metodu ile analizinden elde edilen periyotlar, yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri, taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) ve azaltılmış tasarım spektral ivme değerleri verilmiştir.

Winkler yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde yatak katsayısının değişimine bağlı olarak bina periyodunda farklılıklar oluşmuştur. Zemin sınıfı ZC'den ZE'ye doğru değiştirildikçe, zemin yatak katsayısı değeri azalmaktadır. Zemin yatak katsayısı değeri azaldıkça da bina periyodu ZC'den ZE'ye x-yönünde %37,5, y-yönünde %45,3 artmaktadır. Analizlerde kullanılan bina Winkler metodu yerine ankastre çözüm ile analiz edildiğinde bina periyodu değişmektedir. Ankastre çözümden elde edilen bina periyotları zemin sınıflarından bağımsızdır ve tüm zeminler için aynı değeri ($T_x=0,340$, $T_y=0,291$) vermektedir. Ankastre çözümden elde edilen bina periyotları Winkler metodundan elde edilen bina periyotlarına göre daha düşük

çıkılmaktadır. İki farklı şekilde analiz sonucu elde edilen bina periyotları arasındaki fark ZC sınıfı zeminden ZE sınıfı zemine gittikçe artmaktadır. Örneğin, X yönü dikkate alındığında ZC zemin için %27, ZD zemin için %41, ZE zemin sınıfı için ise %75 seviyelerine kadar fark çıkmaktadır. Periyotlardaki bu değişim azaltılmış tasarım deprem ivmelerini de arttırmaktadır. Öyle ki ZE zemin sınıfında ivme artışı %33 seviyesine kadar çıkmaktadır. Bu sonuç 8 katlı olan bu tür bir tünel kalıp sistemde yapı temel etkileşiminin analizde dikkate alınmasının daha ekonomik sonuçları olacağını göstermektedir.

Tablo 4: Zemin sınıflarına göre periyotlar ve tasarım ivme değerleri
Table 4: Periods and design acceleration values according to soil classes

Zemin Sınıfı	Periyotlar (sn)			T _A	T _B	S _{aex} (T) / S _{aey} (T)	R _{ax} (T) / R _{ay} (T)	S _{aRx} (T) / S _{aRy} (T)
	Burulma	X-yönü	Y-yönü					
ZC	0.511	0.432	0.382	0.065	0.326	0.958/1.084	6.00/6.00	0.160/0.181
ZC-Ank	0.378	0.340	0.291	0.065	0.326	1.218/1.271	6.00/5.63	0.203/0.226
ZD	0.589	0.479	0.436	0.099	0.496	1.140/1.140	5.88/5.58	0.194/0.204
ZD-Ank	0.378	0.340	0.291	0.099	0.496	1.140/1.140	4.90/4.55	0.233/0.250
ZE	0.759	0.594	0.555	0.145	0.723	1.115/1.115	5.38/5.19	0.207/0.215
ZE-Ank	0.378	0.340	0.291	0.145	0.723	1.115/1.115	4.15/3.91	0.269/0.285

S_{ae}(T): Yatay elastik tasarım spektral ivme,

S_{aR}(T): Azaltılmış tasarım spektral ivme (S_{aR}(T)=S_{ae}(T)/R_a(T))

T_A = 0.2 $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$, T_B = $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

R_a(T)=R/I, (T>T_B), R_a(T)=D+(R/I-D)T/T_B, (T≤T_B)

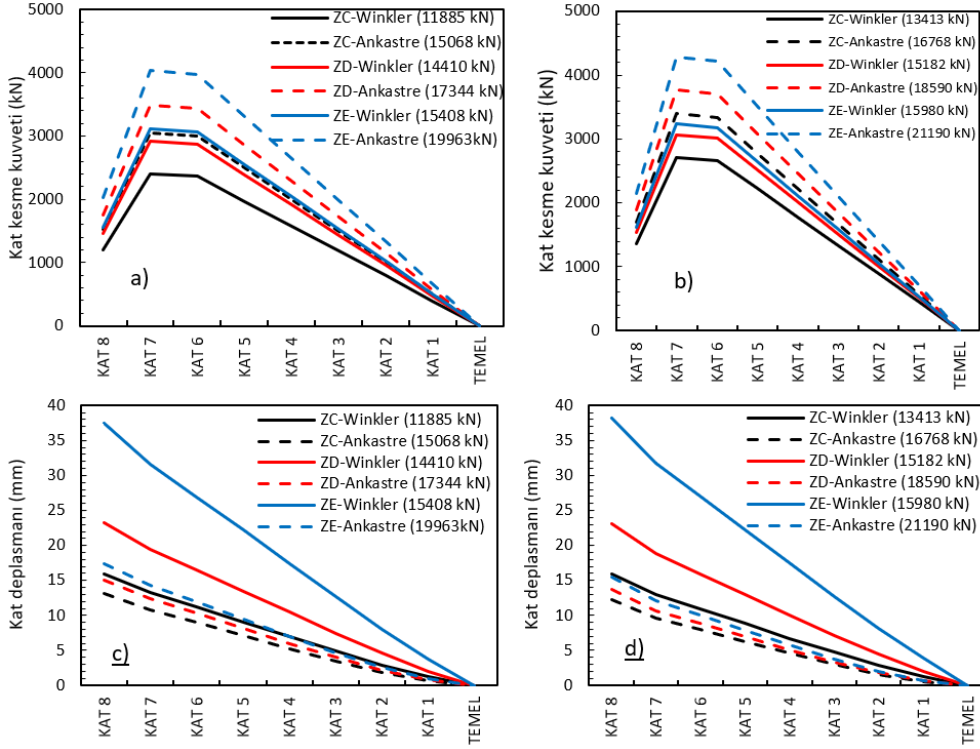
D: Dayanım fazlalığı katsayısı (D=2.5 (A13) TBDY 2018 Tablo 4.1)

3.2) Kat Kesme Kuvvetleri ve Kat Deplasmanları

Analiz sonucunda her bir zemin sınıfı için elde edilen deprem kuvvetleri ve kat deplasmanları her iki yön için de Şekil 3'te sunulmuştur.

Deprem kuvvetleri karşılaştırıldığında Winkler metodu ile yapılan analizlerde ZD ve ZE zemin sınıfları için katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu, fakat ZC zemin sınıfına kıyasla büyük olduğu görülmektedir. ZD ve ZE zemin sınıflarında periyod değişmektedir. Periyod değerine bağlı olarak R değerleri ve dolayısıyla S_{aRx}(T) / S_{aRy}(T) değerleri de değiştiği için yapıya deprem kuvvetleri yakın olarak etki etmektedir. Tablo 4'ün incelenmesinden de görülebileceği gibi X yönü için periyotlardaki değişim %24 iken S_{aRx}(T) değeri ZD zemin sınıfı için 0.194, ZE zemin sınıfı için 0.207 (aradaki fark %7) olmaktadır. İki zemin sınıfı için toplam deprem kuvvetleri arasındaki fark da %7 olmaktadır. Ayrıca, zemin sınıfı kötüleştikçe deprem kuvvetlerinin arttığı da görülmüştür. Yapıya etkiyen toplam deprem kuvvetleri de her iki yön için ayrı ayrı Şekil 3'te sunulmuştur. 8'inci kat asansör makina dairesi ve merdiven boşluğunun üzerini kapatan kat olduğu için tip kata göre daha küçük bir alandır. Bu sebeple 7'nci kattan sonra deprem kuvveti azalmaktadır.

Deprem kuvvetindeki artış ile paralel olarak yapıda meydana gelen deplasmanlar da artmıştır. Ankastre çözüm ve Winkler metodu ile yapılan analizler sonucunda elde edilen kat deplasmanları arasında fark fazla olmaktadır. Ayrıca, Winkler metodu ile yapılan analizlerde kat deplasmanları Ankastre çözümden daha büyük çıkmaktadır. Bu durum Winkler metodu ile yapılan analizlerde temeldeki dönmelerin serbest olması sebebi ile meydana gelmektedir. Oysaki ankastre çözüm ile yapılan analizlerde temel ankastre olarak tanımlandığı için dönme meydana gelmemekte böylece üst yapı etkilenmemektedir. Kat deplasmanları arasındaki fark zemin sınıfı kötüleştikçe giderek artmaktadır. Örneğin, Winkler yöntemine göre x-yönündeki en büyük kat deplasmanı (8'inci Kat için) ZC, ZD ve ZE sınıfı zeminlerde sırasıyla 15.9 mm, 23.3 mm ve 37.5 mm'dir. Ankastre çözüm için 8'nci kat deplasmanları ZC, ZD ve ZE sınıfı zeminlerde sırasıyla 13.3 mm, 15.1 mm ve 17.4 mm'dir.



Şekil 3: Kat kesme kuvvetleri a) x-yönü, b) y-yönü ve kütle merkezi deplasmanları c) x-yönü, d) y-yönü
 Figure 3: Floor earthquake forces a) x-direction, b) y-direction and center of mass displacements c) x-direction, d) y-direction

Winkler metodu, zayıf zeminlerde ankastre çözüme göre daha büyük kat deplasmanları ve deprem kuvvetleri üretmektedir. Bu fark, Winkler metodunda temel dönmelerinin serbest olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak bu durum zemin sınıfı kötüleştikçe artmaktadır. Bu yüzden tünel kalıp sistemlerde yapı-zemin etkileşimi dikkate alınması gerekmektedir.

3.3) Kesme Kapasitesi

TBDY (2018)'de yerinde dökme betonarme binaların tasarımı için kurallar 7'nci bölümde anlatılmıştır. Perde kesitlerinin kesme dayanımının, (V_r), hesaplanması için verilen formül Denklem 3'te sunulmuştur. Burada A_{ch} kesit brüt beton alanını, f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımını, ρ_{sh} perde yatay donatı hacimsel oranını (min 0.0025), f_{ywd} ise donatı çeliğinin tasarım akma dayanımını ifade etmektedir. Denklem 4'te ise TS500'e göre eğik çatlama dayanımı sunulmuştur. Bu denklemde donatı bulunmadan kesitin çatlama dayanımı hesaplanmaktadır. Yine TBDY (2018)'de Denklem 1a ve Denklem 1b'de verilen her iki şartın sağlanması durumunda ρ_{sh} yatay donatı oranının minimum 0.002 olarak alınabileceği belirtilmiştir. Tünel kalıp sistemli binalarda bu iki şart sağlandığı için yatay donatı oranı ρ_{sh} minimum 0.002 olarak alınabilmektedir.

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (3)$$

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d \quad (4)$$

Analiz modeli tip kat planı dikkate alınarak TBDY (2018)'de verilen perde kesme dayanımı (minimum yatay donatı oranı $\delta_{sh} = 0.0020$ kabul edilerek) ve TS500'de verilen eğik çatlama dayanımı ile yapıya etkiyen toplam deprem kuvvetleri her iki yön için ayrı ayrı olmak üzere Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Zemin sınıflarına göre deprem kuvvetleri ve perde kesme dayanımları
 Table 5: Earthquake forces and shearwall shear strengths according to soil classes

Zemin Sınıfı	Perde kesme dayanımı, V_r (kN)		Deprem Kuvveti, EQ (kN)		Oran V_r / EQ	Beton eğik çatlama dayanımı, V_{cr} (kN)	$\sum A_g / \sum A_p$	$V_t / \sum A_g \leq 0.5 f_{ctd}$
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü				
ZC	33413	49570	11880	13410	2.81/3.70	17599/26114	0.0033/0.0049	54.85/41.73
ZD	33413	49570	14401	15166	2.32/3.27	17599/26114	0.0033/0.0049	66.49/47.19
ZE	33413	49570	15402	15971	2.17/3.10	17599/26114	0.0033/0.0049	71.11/ 9.69

Deprem kuvvetleri ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe artmaktadır. Örneğin X yönündeki deprem kuvveti ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe % 30 seviyelerinde artmıştır.

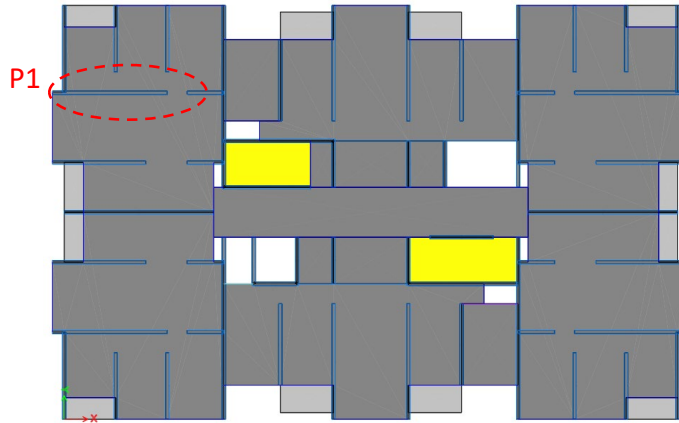
Tablonun incelenmesinden de görülebileceği gibi perde içinde minimum yatay donatı kabulü yapılsa bile sistemde gelen deprem kuvvetinin çok çok üzerinde bir kesme kapasitesi vardır. Hatta sadece betonun kesme kuvveti altında eğik çatlama dayanımı V_{cr} dikkate alındığında bile gelen deprem kuvvetinin üzerinde dayanım olduğu görülmektedir.

Zemin-yapı etkileşiminin orta yükseklikteki binaların sismik tepkisini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bu yüzden, deprem kuvvetlerinin dağılımı değişmekte ve yapısal davranışı etkilemektedir. Zemin-yapı etkileşimi, yapıların sismik performansını ve güvenliğini belirlemede kritik bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Hokmabadi ve diğ. 2013).

Yapılan bir çalışmaya göre, perde eğilme davranışını belirleyen yükseklik/uzunluk>2 şartı sağlanmış olmasına rağmen perdelerde eğilme göçme modunun hakim olmadığı, beklenenin tam aksine davranışa kesme göçme modunun hakim olduğu belirtilmiştir (Mohsenian ve Di-Sarno 2024). Perdelerin eğilme perdesi olarak donatılabilmesi için gerekli olan yükseklik/uzunluk>2 şartı TBDY (2018)'de de aynıdır. Eğilme perdesi olma şartını sağlasa ve bu şarta uygun olarak eğilme etkilerine göre donatılsa bile perdelerde göçme modunun eğilme değil kesme olabileceği unutulmamalıdır.

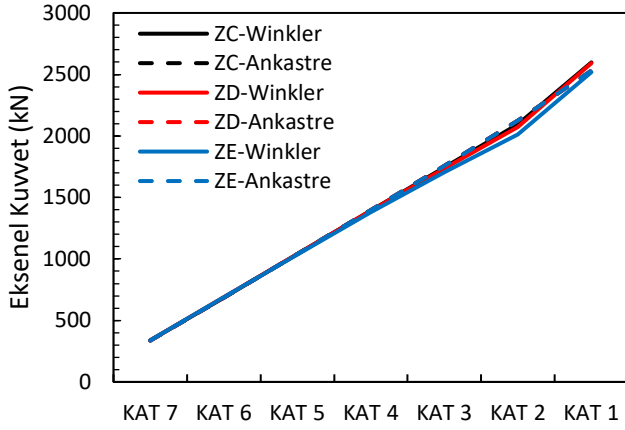
3.4) Perde Duvar İç Kuvvetleri

Analizler neticesinde zemin sınıfları ve modelleme şekline göre perde iç kuvvetlerinde meydana gelen değişimler elde edilmiştir. Örnek olarak seçilen perde tip kat planı üzerinde işaretlenerek Şekil 4'te sunulmuştur.

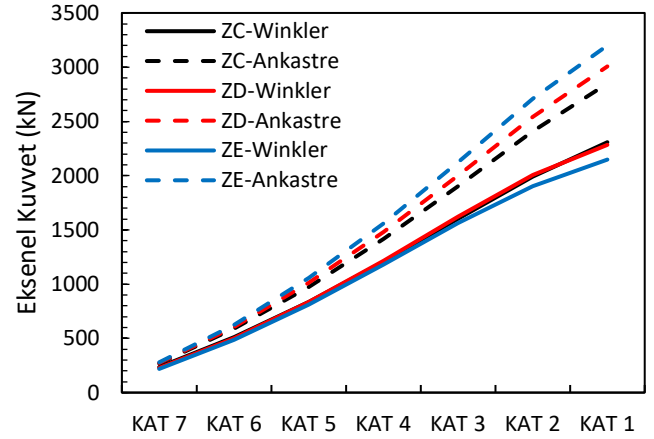


Şekil 4: P1 Perdesinin planda gösterimi
 Figure 4: Plan representation of P1 Shearwall

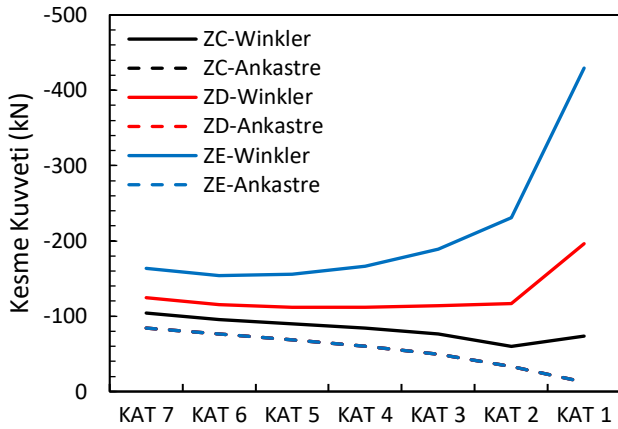
Seçilen perdeye ait faktörlü düşey yükler (1.4G+1.6Q) ve düşey yükler ile X yönü depremin ortak etkisi (G+Q+EX) altındaki aksel yük, kesme kuvveti ve moment değişimi Şekil 5'te sunulmuştur. 8'inci kat asansör dairesi olduğundan ve P1 perdesi 8'inci katta devam etmediğinden dolayı, kesit tesirleri 7'nci kata kadar sunulmuştur.



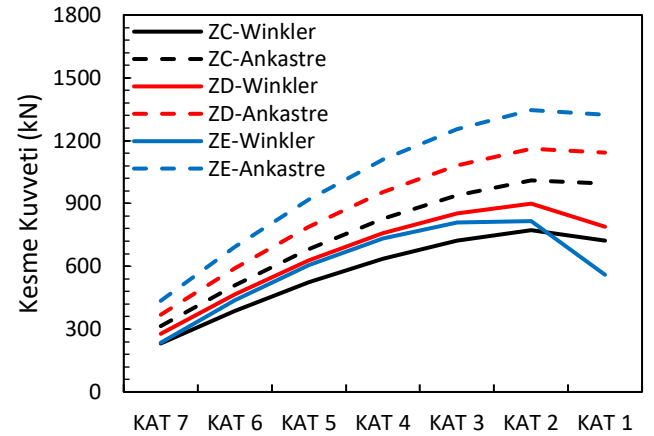
a) Eksenel yük değişimi (1.4G+1.6Q)



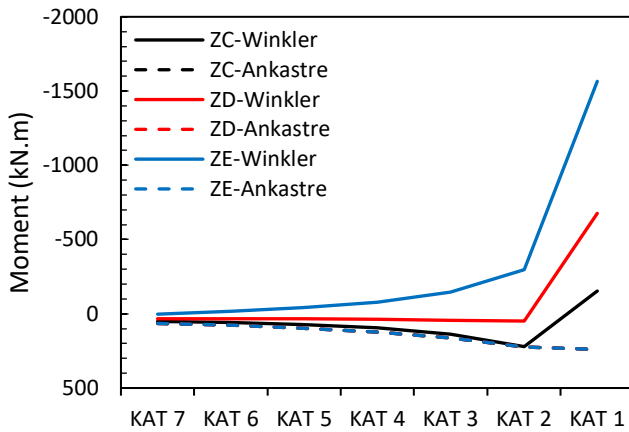
b) Eksenel yük değişimi (G+Q+EX)



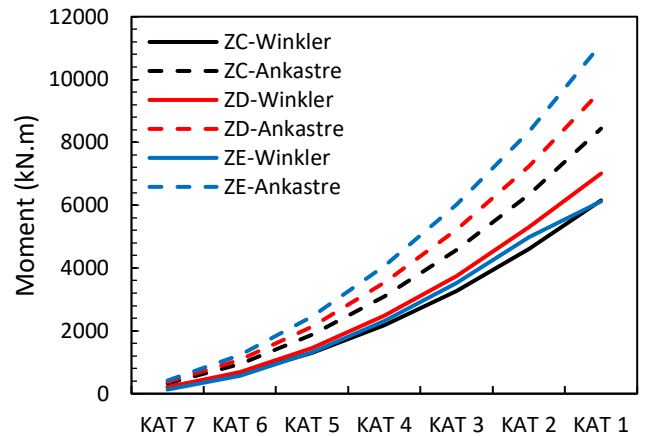
c) Kesme kuvveti değişimi (1.4G+1.6Q)



d) Kesme kuvveti değişimi (G+Q+EX)



e) Moment değişimi (1.4G+1.6Q)



f) Moment değişimi (G+Q+EX)

Şekil 5: P1 perdesi kesit tesirleri değişimi
Figure 5: Internal forces of P1 Shearwall

Winkler ve Ankastre çözümde 1.4G+1.6Q yükleme koşulunda zemin sınıfının ve dolayısı ile zemin yatak katsayısının değişimi P1 perdesine gelen aksel kuvvetlerde ihmal edilebilir seviyede değişikliğe sebep olmuştur (Şekil 5a). Bu durum düşey yükler ve deprem etkisinin ortak etkisi (G+Q+EX) dikkate alındığında farklılık göstermektedir. Temellerin zemin seviyesinde ankastre kabul edilmesi ile elde edilen aksel yük değerleri, yapı – temel etkileşiminin dikkate alındığı Winkler yöntemi ile yapılan modellerden daha fazla çıkmıştır. 1.4G+1.6Q yükleme koşulunda tüm yerel zemin sınıfları için Winkler yöntemi Ankastre temele göre daha büyük kesme kuvveti ve moment değerleri vermektedir. Bu durum, Winkler yönteminde yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınmasından ve temel altında meydana gelen oturmalarından kaynaklanmaktadır. Fakat, kesme kuvveti ve moment değerleri hem düşey yük hem de yatay yük etkisi altında (G+Q+EX) ankastre kabul ile yapılan analizlerde daha fazla olmuştur (Şekil 5). Bunun nedeni ise bina periyodu ve burulma değerlerinin Winkler yönteminde daha büyük olmasına rağmen, Ankastre çözümde perde-temel arasındaki zorlanmanın (dönme olmaması nedeniyle) fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Winkler metodu, yapı-zemin etkileşimini dikkate alarak daha büyük aksel yükler ve momentler üretmektedir. Ancak, ankastre çözümde dönme olmaması nedeniyle düşey ve yatay yüklerin etkisi altında daha büyük kesme kuvveti ve momentler oluşmaktadır.

3.5) Zemin gerilmesi ve oturmalar

Temel tabanında oluşan gerilmeler ve oturmalar; Ankastre temel çözümünde zemin olmadığından dolayı, sadece Winkler temel analizinden elde edilmişlerdir (Tablo 6). Radye temel altındaki gerilme üst yapıdan gelen statik (G+Q) ve dinamik (düşey ve yatay deprem yükü, G+Q+EX, G+Q+E_y) yükler altında oluşur. Yine bu yükler altında zemin özelliklerine bağlı olarak oturmalar meydana gelir. Bu oturmaların izin verilen limitler dahilinde olması gereklidir. Zemin sınıfına bağlı olarak statik ve dinamik yükler altında oluşan zemin gerilmeleri Tablo 6'da, zeminde meydana gelen oturmalar ise Tablo 7'de verilmiştir.

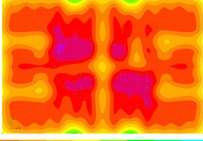
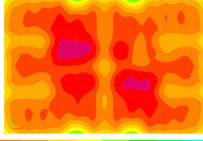
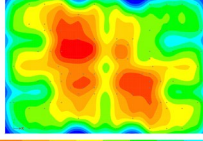
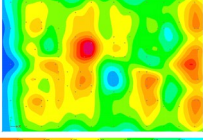
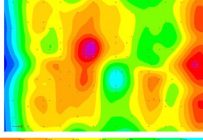
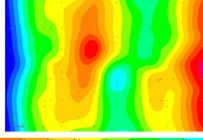
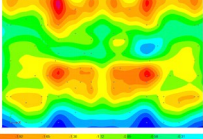
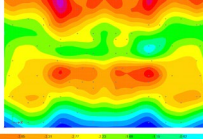
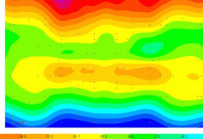
Tablo 6: Statik ve dinamik yükler altında zemin gerilmeleri
Table 6: Base pressures under static and dynamic loads

ZC	ZD	ZE
$\sigma_{max (G+Q)} = 127.5 \text{ kN/m}^2$ 	$\sigma_{max (G+Q)} = 112.8 \text{ kN/m}^2$ 	$\sigma_{max (G+Q)} = 102.0 \text{ kN/m}^2$
$\sigma_{max (G+Q+EX)} = 245.3 \text{ kN/m}^2$ 	$\sigma_{max (G+Q+EX)} = 215.8 \text{ kN/m}^2$ 	$\sigma_{max (G+Q+EX)} = 161.9 \text{ kN/m}^2$
$\sigma_{max (G+Q+E_y)} = 245.3 \text{ kN/m}^2$ 	$\sigma_{max (G+Q+E_y)} = 215.8 \text{ kN/m}^2$ 	$\sigma_{max (G+Q+E_y)} = 176.6 \text{ kN/m}^2$

Zemin yatak katsayısı azaldıkça temel tabanında oluşan gerilmeler de azalmış buna karşılık oturmalar artmıştır. Düşey yükler altında ZC, ZD ve ZE zeminleri için zeminde oluşan maksimum gerilmeler sırası ile 127.5 kN/m², 112.8 kN/m² ve 102.0 kN/m² olarak elde edilmiştir. Düşey yük ve depremin ortak etkisi altında ise x ve y yönleri için sırası ile 245.3 kN/m² (ZC), 215.8 kN/m² (ZD), 161.9 kN/m² (x) – 176.6 kN/m² (y) (ZE) mertebelerindedir.

Oturmalar incelendiğinde ise zemin yatak katsayısı azaldıkça (ZC'den ZE'ye doğru) oturmaların arttığı görülmektedir. Düşey yükler altında ZC zemin sınıfında 1.5 mm olan oturma miktarı ZE zemin sınıfında 12 mm mertebelerine ulaşmıştır. Deprem yüklemesi altında bile (G+Q+E_y) radye temel altındaki en büyük oturma değeri 20 mm olmaktadır. Benzer durum düşey yükler ile deprem etkisinin de dikkate alındığı kombinasyonda da görülmektedir. Kumlu zeminlere oturan radye temeller için izin verilebilir oturma değeri 50 mm olduğundan (EN 1998-1 2004), bina oturma şartını sağlamaktadır.

Tablo 7: Statik ve dinamik yükler altında zeminde meydana gelen maksimum oturmalar
Table 7: Maximum settlements under static and dynamic loads

ZC	ZD	ZE
$\delta_{max (G+Q)} = 1.5 \text{ mm}$ 	$\delta_{max (G+Q)} = 3.3 \text{ mm}$ 	$\delta_{max (G+Q)} = 12.0 \text{ mm}$ 
$\delta_{max (G+Q+E_x)} = 2.9 \text{ mm}$ 	$\delta_{max (G+Q+E_x)} = 6.2 \text{ mm}$ 	$\delta_{max (G+Q+E_x)} = 18 \text{ mm}$ 
$\delta_{max (G+Q+E_y)} = 2.9 \text{ mm}$ 	$\delta_{max (G+Q+E_y)} = 6.2 \text{ mm}$ 	$\delta_{max (G+Q+E_y)} = 20.0 \text{ mm}$ 

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada deprem gibi dinamik yatay yükler altında oldukça iyi davranış gösteren, taşıyıcı sistemi tünel kalıp sistem olan 8 katlı bir yapı farklı zemin tipleri dikkate alınarak hem Winkler metodu hem de ankastre çözüm ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Zemin sınıfı olarak ZC, ZD ve ZE sınıfları ve sırasıyla bu sınıflara karşılık gelen 90000 kN/m³, 36000 kN/m³ ve 9000 kN/m³ yatak katsayıları dikkate alınmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- S_{Ds} değeri ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe azalmaktadır.
- ZC'den ZE zemin sınıfına doğru gidildikçe köşe koordinatları olan T_A ve T_B arasındaki fark açılmaktadır. ZE zemin sınıfları üzerine yapılacak yapıların maksimum ivmeye maruz kalma ihtimali diğer zemin sınıflarına göre daha fazladır.
- Winkler metoduna göre modelleme ve analiz yapıldığında zemin sınıfı kötüleştiğinde yapı periyodunda artış meydana gelmiştir. Winkler metodu ile çözümde ZE zemin sınıfında periyot değeri %75 daha fazla çıkmıştır. Periyottaki değişim deprem kuvvetlerini etkilemektedir. Bununla birlikte ankastre çözüm ile yapılan analizlerden elde edilen bina periyodu daha düşük çıkmaktadır.

- Azaltılmış tasarım ivme değerleri dikkate alındığında Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), değerindeki değişimden dolayı yapıya etkileyen en büyük ivme ZE zemin sınıfında olmuştur. Bunu sırasıyla ZD ve ZC zemin sınıfları izlemektedir.
- Deprem kuvvetleri ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe artmaktadır. Örneğin X yönündeki deprem kuvveti ZC zemin sınıfından ZE zemin sınıfına gittikçe % 30 seviyelerinde artmıştır.
- Ankastre çözüm ile yapılan tüm analizlerde azaltılmış tasarım ivme değerleri yapı-temel birlikte olan modellerden daha fazla olmuştur. Bu sebeple yapı-temel birlikte çözümün deprem kuvvetleri açısından daha ekonomik çözüm verdiği söylenebilir. Buna karşılık yapı-temel birlikte çözümde temeldeki oturma ve dönmeler analizde dikkate alındığı için deprem kuvvetleri daha az olmasına rağmen deplasmanlar daha fazla olmaktadır. Daha gerçekçi deplasman ve davranışın elde edilmesi için yapı-temel etkileşiminin dikkate alındığı Winkler metodu, Pseudo Eşlenik metod gibi yöntemlerle yapı analizinin gerçekleştirilmesi daha doğru olacaktır.
- TBDY (2018)'de verilen perdelerin kesme güvenliği (V_r) formülüne göre perdelerin deprem doğrultusuna paralel boyutları dikkate alınarak minimum yatay donatı oranı kabulü ile yapılan hesapta tüm zemin sınıflarında perdelerin kapasiteleri gelen deprem kuvvetlerinin üzerindedir. Bu durum tünel kalıp sistemlerin deprem etkisinde neden iyi performans gösterdiği sorusuna ışık tutmaktadır. TS500'de verilen ve donatının bulunmadığı Eğik Çatlama Dayanımı (V_{cr}), değeri bile deprem kuvvetinin üzerinde kalmaktadır.
- Modelleme yöntemine göre deprem kuvvetlerinin farklılık göstermesi taşıyıcı sistemi oluşturan perdelerde oluşan iç kuvvetleri de etkilemektedir. Düşey yükler altında elde edilen aksel yük değerlerindeki değişim tüm modellerde ihmal edilebilir seviyede iken kesme kuvveti ve moment değerleri tüm modellerde kolonların temel seviyesinde ankastre kabul edilmesi ile yapılan analizlerde daha fazla çıkmıştır.
- Zeminde oluşan gerilme değerleri ZC zemin sınıfından ZE gittikçe azalmaktadır. ZC zemin sınıfında, düşey yükler altında oluşan gerilmeler ZE zemin sınıfına göre %25 daha fazladır. Deprem durumunda ise bu artış %50'ye kadar çıkmaktadır.
- Zeminde meydana gelen oturma değerleri ZC zemin sınıfından ($\delta_{max (G+Q)} = 1.5$ mm) ZE zemin sınıfına ($\delta_{max (G+Q)} = 12$ mm) gittikçe artmaktadır.

KAYNAKLAR

Aval S.B.B., Asayesh M.J., 2017. Seismic performance evaluation of asymmetric reinforced concrete tunnel form buildings, *Structures*, 10, 157–169, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2017.03.005>.

Balkaya C., Kalkan E., 2002. Tünel Kalıp ile İnşa Edilen Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Davranışları, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Balkaya C., Kalkan E., 2003a. Estimation of fundamental periods of shear-wall dominant building structures, *Earthq Eng Struct Dyn.*, 32(7),985-998.

Balkaya C., Kalkan E., 2003b. Nonlinear seismic response evaluation of tunnel form building structures, *Comput Struct.*, 81(3),153-165.

Balkaya C., Kalkan E., 2004. Seismic vulnerability, behavior and design of tunnel form building structures, *Eng Struct.*, 26(14), 2081-2099.

Chaudhary A.D., 2017. Study of tunnel formwork system & comparative analysis with conventional formwork, *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 8(5), 1281-1286.

El-saad M.N.A., Salama M.I., 2017. Estimation of period of vibration for concrete shear wall buildings, *HBRC journal*, 13(3):286–290.

EN 1998-1, 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard, rue de Stassart, Brussels.

ETABS, 2003. Computers and Structures Inc. Berkeley, CA.

Goel R.K., Chopra A.K., 1998. Period formulas for concrete shear wall buildings, *Journal of Structural Engineering*, 124(4), 426-433.

Guzel Y., Güzel F., 2024. Considerations of Design Response Spectrum Involving Site Effect: Application to the Kocaeli Region, Türkiye, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 40-57.

Hadzima-Nyarko M., Ademović N., Koković V., Lozančić S., 2022. Structural dynamic properties of reinforced concrete tunnel form system buildings, *Structures*, 41, 657-667.

Hokmabadi A.S., Fatahi B., Samali B., 2013. Seismic response of superstructure on soft soil considering soil-pile-structure interaction. In 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovations in Geotechnics, *ICSMGE 2013*.

Kalkan E., Yüksel S.B., 2008. Pros and cons of multistory RC tunnel-form (box-type) buildings, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17(3),601-617.

Korkmaz H., 2006. Antakya'da zemin özellikleri ve deprem etkisi arasındaki ilişki, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 4(2),49-66.

Lee L., Chang K., Chun Y., 2000. Experimental formula for the fundamental period of RC buildings with shear-wall dominant systems, *The Structural Design of Tall Buildings*, 9(4),295-307.

Mohsenian V., Di-Sarno L., 2024. Numerical analysis of potential failure modes in shear walls of the tunnel form concrete system: Performance-based approach, *Eng Struct.*, 303,117494.

Mohsenian V., Gharaei-Moghaddam N., Moghadam A.S., 2024. Evaluation of slab-wall connections in tunnel form concrete structures: A multi-level approach based on seismic demand and capacity, *Eng Fail Anal.*, 156,107833.

Mohsenian V., Nikkhoo A., Hejazi F., 2019. An investigation into the effect of soil-foundation interaction on the seismic performance of tunnel-form buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 125:105747.

Mohsenian V., Nikkhoo A., Rostamkalaee S., Moghadam A.S., Hejazi F., 2021. The seismic performance of tunnel-form buildings with a non-uniform in-plan mass distribution, *Structures*, 29, 993-1004.

Mylonakis G., Nikolaou S., Gazetas G., 2006. Footings under seismic loading: Analysis and design issues with emphasis on bridge foundations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(9),824-853.

Olgun M., Fidan B., Yenginar Y., 2019. Model Studies of Lateral Soil Pressure on Drilling Piles in Dry and Saturated Sands, *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 56(4),280-286. <https://doi.org/10.1007/s11204-019-09603-9>.

Özer Ö., Yüksel B., 2021. Comparison of the effect of foundation analysis methods on structural analysis results of tall buildings, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(1),106-112, <https://doi.org/10.35860/iarej.799055>.

Özkan İ., Yenginar Y., Ecemiş A.S., 2023. Analysis of raft foundation on sandy soils by Winkler and Pseudo-coupled methods, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2),675-688, <https://doi.org/10.31796/ogummf.1224081>.

Scott R.F., 1984. Foundation analysis, Prentice Hall International., London: Prentice Hall International.

Soğancı A.S., Orman A., 2024. The Influence of Polypropylene Fiber on High and Low Plasticity Clay, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 178-187, <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.41>.

Soğancı A.S., Yenginar Y., Orman A., 2023. Geotechnical Properties of Clayey Soils Stabilized with Marble Dust and Granulated Blast Furnace Slag, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(11), 4622-4634, <https://doi.org/10.1007/s12205-023-0384-6>.

Soğancı A.S., Yenginar Y., Özkan İ., Güzel Y., Özdemir A., 2024. Waste Management of Red Mud and Fly Ash to Utilize in Road Subgrade Material, *Sustainability*, 16(7),2987, <https://doi.org/10.3390/su16072987>.

Stewart J.P., Seed R.B., Fenves G.L., 1999. Seismic soil-structure interaction in buildings. II: Empirical findings, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 125(1), 38-48.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>.

Yenginar Y., Fidan B., Olgun M., 2024. Effect of pile geometry and soil saturation degree on point bearing capacity for bored piles in sands, *Konya Journal of Engineering Sciences*, 12 (2), 307–325, <https://doi.org/10.36306/konjes.1398634>.

Yenginar Y., Mobark A.A.A.M., Olgun M., 2021. Investigating the construction parameters of deep mixing columns in silty soils, *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(3), 464-474, <https://doi.org/10.35860/iarej.978978>.

Yenginar Y., Olgun M., 2023. Optimizing installation parameters of DM columns in clay using Taguchi method, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82(4),145, <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03168-6>.

Yenginar Y., Olgun M., 2024. Uçucu Kül Katkısının Derin Karıştırma Kolonlarının Sıkışabilirliğine Etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 139-152, <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.38>.

Yenginar Y., Özkan İ., 2023. Local site conditions and hydromechanical effects in service life of cantilever retaining walls, *Eng Fail Anal.*, 153, 107536. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107536>.

Yuksel S.B., Kalkan E., 2007. Behavior of tunnel form buildings under quasi-static cyclic lateral loading, *Structural Engineering and Mechanics*, 27(1), 99.

Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z., 2005. The finite element method set, Its Basis and Fundamentals, Sixth Edition, Elsevier, 2005.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı (Deprem Verisi-TDVM, Deprem Tehlike Haritası-TDTH kullanımı)

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): A.S.E., Y.Y., İ.Ö.
- Literatür araştırması (*Literature research*): A.S.E.
- Veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): A.S.E.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): A.S.E.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): A.S.E., Y.Y.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): A.S.E., Y.Y., İ.Ö.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): A.S.E., Y.Y., İ.Ö.