

Deprem Yükleri Altında Yapı ve Zemin Etkileşimi

İshak EROĞLU¹, Doç.Dr. Cengiz İPEK²

¹19120707020@ismu.edu.tr, <https://orcid.org/0009-0002-9496-0311>, İnşaat Mühendisi Adayı, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²cengiz.ipek@medeniyet.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-5319-1048>, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET: Zemin bina etkileşimi, yapıların çeşitli dinamik etkiler altında hasar görmesini azaltmak için önemli bir faktördür. Bu etkileşim, zeminin sismik dalga yayılımı, dispersiyonu, yansıma ve soğurma gibi dinamik özelliklerinin yapının sismik performansına etkisini ifade eder. Bu nedenle, yapı tasarımı ve inşaatı sırasında zemin temel etkileşiminin dikkate alınması büyük önem taşır. Zemin temel etkileşimi, yapıların deprem yükleri altında nasıl davranacaklarını belirleyen birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında yapı malzemesi, yapı geometrisi, zemin özellikleri, seçilen temel sistemi ve deprem yükleri yer alır. Bu faktörlerin etkisi, yapıların tasarımı ve inşaatı sırasında dikkate alınır ve uygun önlemler alınarak yapının sismik performansı artırılır. Yerel zemin etkileri, depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından önemli bir rol oynar. Örneğin, 2023 Kahramanmaraş depreminde yaşanan 7,7 ve 7,6 büyüklüğündeki depremde binalar zemin kaynaklı büyük hasarlar almıştır. Hasarlı binaların incelenmesi sonucunda, zemin temel yapı ilişkisinin sağlıklı olarak kurulmadığı gözlemlenmiştir. Yıkılan binaların en belirgin özelliklerinden biri, temellerin oturduğu zeminlerin taşıma kapasitesinin düşük olmasıdır. Bu çalışma kapsamında, zemin türü, zemin yapısı ve seçilen temel sisteminin özelliklerinin yapı davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Zemin yapı etkileşimi ele alınarak, binanın uygun zeminde nasıl davranacağı ve zemine uygun temel sisteminin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Bina temel sistemi, zemin sınıfları dikkate alınarak seçilmiştir ve 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliği gereklilikleri göz önünde bulundurulmuştur. Hesaplamalar yapılarak örnek bir yapı modellenmesi gerçekleştirilmiş ve İDECAD programında simülasyonlar yapılmıştır. Bu şekilde zemin temel yapı arasındaki ilişkinin dayanıklı bir şekilde ortaya konulması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Zemin Yapı Etkileşimi, Zemin, 2018 Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem, Yapı Hasarı

Soil And Building Interaction Under Earthquake Loads

ABSTRACT: Soil-building interaction is an important factor to reduce the damage of structures under various dynamic effects. This interaction refers to the effect of dynamic properties of the ground such as seismic wave propagation, dispersion, reflection and absorption on the seismic performance of the structure. Therefore, it is of great importance to consider the soil-foundation interaction during building design and construction. Soil-foundation interaction depends on many factors that determine how structures will behave under earthquake loads. These factors include building material, building geometry, soil properties, selected foundation system and earthquake loads. The influence of these factors is taken into account during the design and construction of structures and the seismic performance of the structure is improved by taking appropriate measures. Local soil effects play an important role in earthquake resistant building design. For example, in the 2023 Kahramanmaraş earthquake of magnitude 7.7 and 7.6, buildings were severely damaged due to soil. As a result of the examination of the damaged buildings, it was observed that the soil-foundation-structure relationship was not established properly. One of the most prominent features of the collapsed buildings is the low bearing capacity of the soils on which the foundations sit. Within the scope of this study, how the soil type, soil structure and the properties of the selected foundation system affect the behaviour of the structure is investigated. By considering soil-structure interaction, how the structure will behave on the appropriate soil and determination of the foundation system suitable for the soil are emphasised. The foundation system of the building is selected by considering the soil classes and the requirements of the 2018 Turkey Building Earthquake Code are taken into consideration. A sample building modelling was carried out by making calculations and simulations were made in IDECAD programme. In this way, it is aimed to reveal the relationship between the soil and the structure in a healthy way.

Keywords: Soil-Structure Interaction, Soil, 2018 Building Earthquake Code, Earthquake, Structure Damage

Date of Submission: 21.06.2023
<https://doi.org/10.5281/zenodo.8200563>

Date of Acceptance: 23.07.2023

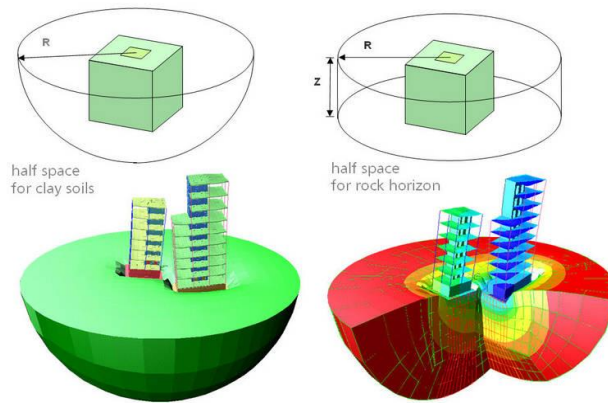
1. GİRİŞ

AFAD kayıtlarına göre merkez üssü Pazarcık olan $M_w=7.7$ büyüklüğündeki ve merkez üssü Elbistan olan $M_w=7.6$ büyüklüğündeki 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen büyük felaket olarak nitelendirilen ve 10 ilde etkisini gösteren çok ciddi yıkıcı bir deprem yaşanmıştır. Elli binin üzerinde vatandaşımızın hayatını kaybettiği bu depremde Yapı zemin etkileşiminin olumsuz şartlarından kaynaklı oldukça fazla yapı bulunmaktadır. Binaların hasar ve yıkım sebebine bakıldığında zemin analizlerinin iyi yapılmadığı ve yapıların belli bir kalıpta tek tip inşa edildikleri görülmüştür. Bu kapsamda yıkılan ve hasar gören betonarme yapıların zemin özellikleri ile yapısal davranışları gözlenmektedir. Yapacağımız bu çalışmada gerçek bir yapının, bulunduğu zemin özellikleri üzerinde farklı temel sistemlerinde taşıma gücü binanın TBDY 2018 'e uygun şekilde dayanımları karşılaştırılıp uygun temel sisteminde proje tasarlanacak ve tasarım karşılaştırmaları yapılacaktır.

2. DEPREM ETKİSİ İLE ZEMİN TEMEL YAPI ETKİLEŞİMİ

Yer kabuğundaki kırılmalar sonucunda meydana gelen ani titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak ulaştığı ortamları sarsma durumu depremleri oluşturmaktadır. Depremler farklı zeminlerde farklı etkiler gösterebilmektedir. Örneğin yumuşak zeminlerde etkisini daha fazla gösterirken sert (kaya) zeminlerde deprem etkisinin sönümlendiği görülmektedir.

Zeminlerin mekanik, geometrik ve dinamik özellikleri yapıya aktarılan özellikleri etkilediği gibi yapıda, yapıdan geri yansıyan özellikleri de etkiler. Yapının beklenen performans ve dayanımın elde edilebilmesi için zemin durumu, projelendirme, yapının inşası, uygulama ve denetim süreçlerinin bir bütün olarak gerçekleştirmesi ile sağlanmaktadır. Yapısal analizlerde genellikle temellerin ankastre kabul edildiği ve temellerde yer değiştirme ve dönme olmadığı varsayılır. Gerçekte ise, temellerde hem çökme hem de dönmeler olmaktadır. Yapılar, dinamik yüklemeler altında hareket ederken zeminle etkileşim halindedir. Bu etkileşim hem yapıyı hem de zemini etkilemektedir. Yapıların zeminle olan etkileşimi, yapıların temel özellikleri, zeminin karakteristikleri ve deprem hareketinin özellikleri ile ilgilidir. Bu faktörler, yapıların davranışını belirlemede önemli rol oynamaktadır. Yapıların temel özellikleri arasında boyutları, şekilleri, yapı malzemeleri, yapı elemanları, yapıya etki eden yükler gibi faktörler bulunur. Temeller, zemin ile direk temas halinde olan yapı yüklerini zemine aktaran aracı olana yapı kısmıdır. Bu doğrultuda temeller hem yapıdan hem de zeminden etkilenmektedirler. Bu kapsam da temel tasarımı yapı için oldukça önem arz etmektedir. Zeminin özellikleri ise, zemin tipi, zeminin sertliği, zeminin taşıma kapasitesi ve zeminin gevrekliği gibi faktörlere bağlıdır.

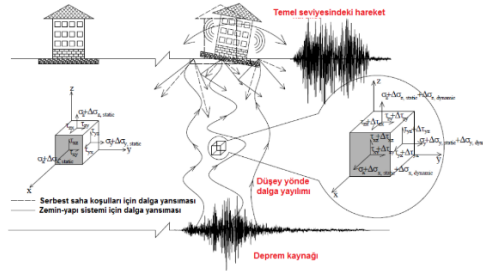


Şekil 1. Yapı-zemin etkileşimi

Yapılar üzerinde deprem etkisini belirleyen çok sayıda etkenler vardır. Deprem kaynağı, deprem dalgası, yerel zemin etkileri, deprem dalgasının güzergahı yapı-zemin etkileşiminin yapı üzerindeki etkisini belirleyen etkenler arasındadır. Tasarım olarak bakıldığında deprem kaynağının etkisi olarak faya olan uzaklık, kırılma ve deprem büyüklüğü anlaşılır.

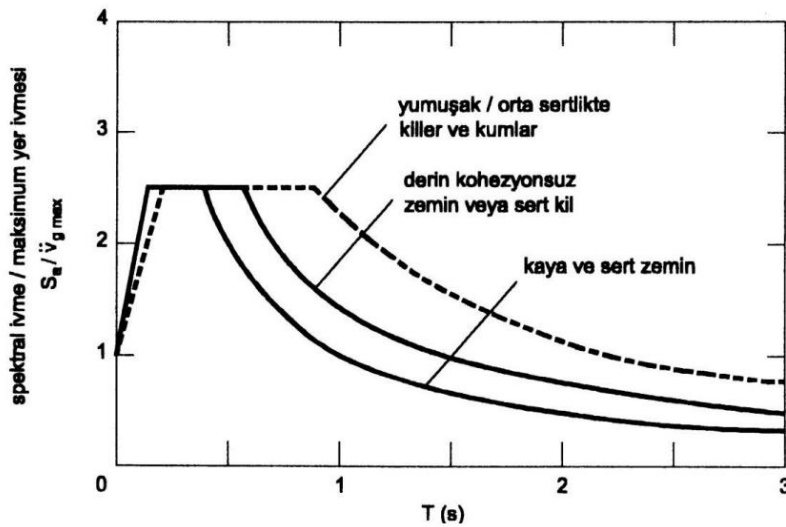
2.1. Yerel zemin etkisi

Yerel zemin etkisi, zeminin yapısına göre deprem anında farklılık gösterebilmektedir. Yumuşak zeminlerde deprem etkisini daha yüksek ivmeyle zemine ulaşabilmektedir. Şekil 2 de görüldüğü gibi deprem kaynağındaki deprem dalgasıyla zemindeki deprem dalgasının farklı olduğu görülmektedir. Bu durum zemin özellikleri ile açıklanmaktadır. Bu kapsamda depreme dayanıklı tasarım yaparken temel sisteminin de bu bilgiler ışığında deprem yönetmeliğine uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır. Nitekim bu çalışmada da aynı zemin üzerinde bulunan gerçek bir yapının deprem yönetmeliğine uygun bir şekilde farklı temel sistemlerinin karşılaştırılması ile uygun tasarım gerçekleştirilerek gösterilecektir. Yerel zemin sınıflandırılması bu kapsamda oldukça önemli bir parametredir.



Şekil 2. Kaynakta ve zemindeki deprem dalgası

Yerel zemin koşulları, kaydedilen deprem genliğini etkileyen en önemli faktördür. Farklı zemin tipleri, deprem tepki spektrumu içinde farklı periyot aralıklarında büyüme meydana getirir. Eğer yapıların doğal periyodu, bu büyüme aralığına yakın ise, yapıda meydana gelen hasar önemli ölçüde artabilir. Bu sebeple, yer hareketi analizleri ve depreme dayanıklı yapı tasarımı sürecinde, yerel zemin şartları büyük bir öneme sahiptir. Yerel zemin koşullarına uygun bir deprem ivme spektrumu belirlemek, dinamik yapı analizlerinde en yaygın kullanılan giriş parametresidir. Bu, en yüksek pik ivme değeri ve periyodu (PGA) içeren bir spektrumu ifade eder. Jeolojik verilerin yetersiz olduğu durumlarda, deprem tepki spektrumu, zemin karakterizasyonunda yararlı bir araç olarak kullanılabilir. Ayrıca, yerel zemin koşullarının, depremin maksimum hızı ve ivmesiyle birlikte spektrumuna da etkisi olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, yerel zemin koşulları, yapıların maruz kaldığı deprem etkilerini belirlemede önemli bir role sahiptir. Bu nedenle, yapı tasarımı ve analizlerinde, yerel zeminin doğru bir şekilde karakterize edilmesi ve deprem ivme spektrumu ile uyumlu bir şekilde ele alınması büyük önem taşır.



Şekil 3. Farklı zemin özelliklerindeki spektral ivme

2.2. TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'de tasarıma esas teşkil eden elastik ivme spektrumu Şekil 4.'de verilmiştir. TBDY 'de, Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamın da tanımlanmıştır:

- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s
- 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu $[(V_s)_{30}=760 \text{ m/s}]$ (V_s : Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı) esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} ve 1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı S_{D1} değerleri Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{DS} = S_s F_s$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (1)$$

Denklem 1'de görüleceği üzere Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından okunana spektral değerler Şekil 4.'de verilen yerel zemin eki katsayıları ile çarpılarak tasarım spektral ivme katsayıları elde edilmektedir.

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Şekil 4. TBDY (2018) yerel zemin etki katsayıları

3. TASARIM ESASLARI (TBDY 2018'e Göre)

Deprem etkisi altında yapı temel tasarımının temel amacı, temel taşıma kapasitesinin aşılmaması ve zemin yer değiştirmelerinin kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasının sağlanmasıdır. Temel tasarımı, aşağıdaki genel prensiplere uygun olmalıdır:

Yük Analizi: Yapının taşıyabileceği yükler, doğru ve kapsamlı bir şekilde analiz edilmelidir. Hem ölü yükler (yapının kendi ağırlığı) hem de canlı yükler (insanlar, mobilyalar vb.) göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, deprem etkisi altında oluşabilecek yükler de dikkate alınmalıdır.

Zemin İncelemesi: Yerel zemin koşullarının detaylı bir şekilde incelenmesi büyük önem taşır. Zeminin taşıma kapasitesi, zeminin sıkışabilirliği, sıvılaşma potansiyeli ve zemin yer değiştirmeleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak analiz edilmelidir.

Deprem Yüğü Analizi: Yapının deprem etkisi altındaki davranışını belirlemek için doğru deprem yüğü analizi yapılmalıdır. Bölgenin deprem potansiyeli, tasarım spektrumu ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak uygun deprem yüğü hesaplamaları yapılmalıdır.

Temel Seçimi: Yapının yüklerini etkin bir şekilde taşıyabilecek ve zemin hareketlerine karşı dayanıklı olacak şekilde uygun bir temel sistemi seçilmelidir. Temel tasarımında, yapıya ve zemin koşullarına en uygun temel tipi (temel plak, kazıklar, sürekli temeller vb.) belirlenmelidir.

Yer Değiştirme Kontrolü: Yapının zemin hareketlerine bağlı yer değiştirmeleri izin verilebilir sınırlar içinde tutulmalıdır. Bu, temel tasarımının, yapıya zarar vermeden zeminin elastik davranışını dikkate alacak şekilde yapılmasını gerektirir.

Yapı-Stabilite İlişkisi: Yapının stabilitesi, temel tasarımında önemli bir faktördür. Yapının ağırlığı ve merkezkaç kuvvetleri, zeminin taşıma kapasitesini aşmamalı ve yapıyı dengede tutacak şekilde hesaplanmalıdır.

Kalite Kontrol: Temel inşaatı aşamasında kalite kontrol önlemleri alınmalıdır. Temel malzemeleri, inşaat yöntemleri ve uygulama süreci titizlikle denetlenmelidir.

Yukarıdaki genel prensiplere uygun olarak yapılan bir temel tasarımı, yapıya dayanıklılık sağlayacak ve deprem etkisi altında güvenli bir şekilde hizmet verebilecek bir yapı temelini oluşturulmasını sağlar.

3.1. Temel Tasarımında Taşıma Gücü İlkesi

Yönetmelikte, yüzeysel ve derin temellerin geoteknik tasarımı için taşıma gücü ilkesi esas alınmıştır. Temel zeminin, olası göçme mekanizmalarına karşı gelen tasarım taşıma gücü 'nün yeterliliği Denk. (2) de verilen genel ifade ile sağlanmaktadır.

$$E_t \leq R_t \quad (2)$$

3.2. Tasarım Etkileri

Statik yük birleşimleri, ilgili yönetmeliklere uygun olarak belirlenecektir. Deprem etkisini içeren yük birleşimleri ise TBDY 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018) tarafından tanımlanmıştır. Temel zemininde oluşan etkiler, TBDY 2018'e göre depremde bina-yapı taşıyıcı sisteminden temele iletilen kuvvetler ve düşey yük etkileri dikkate alınarak hesaplanacaktır. Tasarıma esas yatay kesme kuvveti, yönetmelikte belirtilen kriterlere göre hesaplanmalıdır. Bu hesaplama sürecinde, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme direnci ve temel yan yüzünde oluşan aktif olmayan toprak basıncı en fazla %30 oranında dikkate alınmalıdır. Bu şekilde, temel tasarımı zeminin karakteristik özelliklerini ve deprem etkisini göz önünde bulundurarak güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Yük birleşimlerinin doğru bir şekilde hesaplanması, temel tasarımının doğruluğunu ve yapıya dayanıklılığını sağlamak için kritik öneme sahiptir. TBDY 2018'de belirtilen prensiplere uygun olarak yapılan hesaplamalar, yapı temelini oluşturan elemanların taşıma kapasitesinin aşılmamasını ve zeminin izin verilen sınırlar içinde yer değiştirmesini sağlar. Bu yönetmelikler, güncel bilimsel ve teknik verilerin ışığında yapılmış güvenlik

standartlarını içerir. Bu nedenle, temel tasarımında yönetmeliklere tam uyum sağlanması, yapıların deprem etkisi altında güvenli ve sağlam olmasını sağlar. Yönetmeliklerde belirtilen esaslar, profesyonel mühendislik uygulamalarıyla birleştiğinde, yapı temellerinin dayanıklılığını ve güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynar.

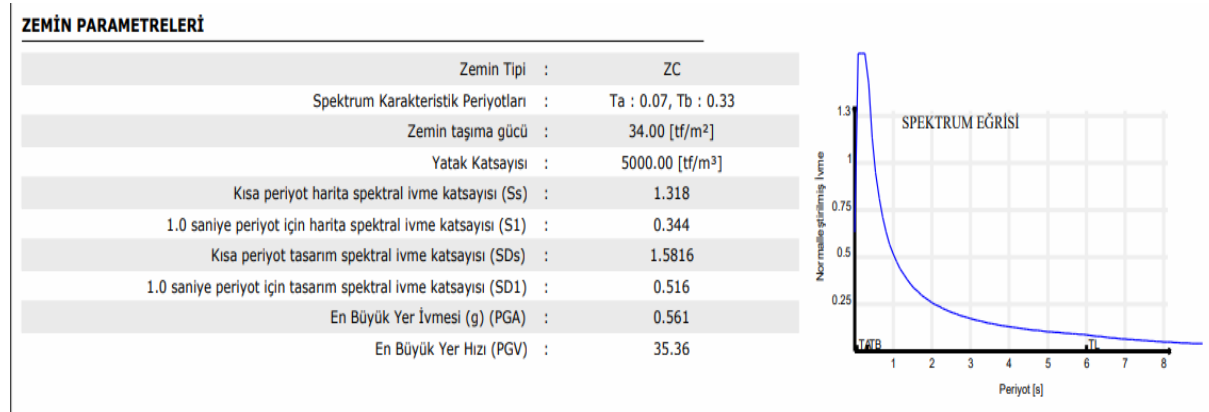
3.3. Tasarım dayanımları

Statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin tasarım dayanımı R_t , karakteristik dayanım R_k 'nın dayanım katsayısı R_γ 'ye bölünmesi ile bulunacaktır.

$$R_t = \frac{R_k}{R_\gamma}$$

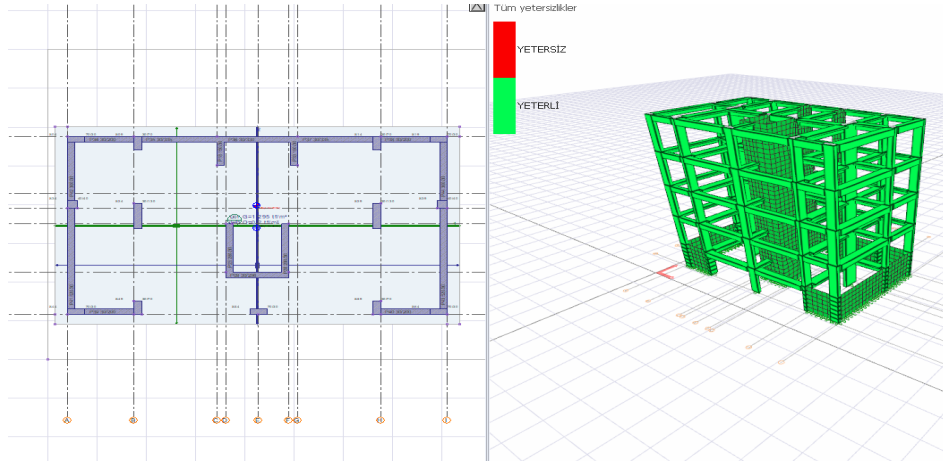
4. BULGULAR

Yapılan zemin çalışmaları sonucunda zemin verileri şekil 4'teki gibi gelmektedir. Tip 1 sürekli temel, Tip 2 tekil temel, Tip 3 Radye temel seçilerek analizler ve raporlar TS500 ve TBDY 2018'e göre yapıp karşılaştırılacaktır. Zemin taşıma gücü $30 \text{ [tf/m}^3\text{]}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Zemin parametreleri

Üst yapı olarak tasarımların yapıldığı yapıda şekil 6'da tasarımın yeterli olduğu bulunmuştur. Bu üst yapıya temeller atanıp taşıma gücü kapasiteleri değerlendirilecektir.



Şekil 6. Yapı tasarımı

4.1. Sürekli temel

Temel Ztg : 30 [tf/m ²]	Notasyon	Birim	Sol		Açıklık	Sağ		Donatı
			Üst	Alt		Üst	Alt	
1. BODRUM								
TKB101 Tb = 30.92 [tf/m ²] Duvar Yüğü=1.657 tf/m X	Kom.		0.9G'- Ey-.3Ex-.3Ez	G'+Q'+ Ey+.3Ex+.3Ez	1.4G+1.6Q	G'+Q'- Ex-.3Ey+.3Ez	0.9G'+ Ex+.3Ey-.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/10
	Md	[tfm]	4.82	-5.56	7.91	17.04	-8.97	Düz : 4Ø14 Pilye : 2Ø18
	As	[cm ²]	3.00	10.96	10.96	10.85	10.96	Üst İlave- 2Ø18
								Alt İlave1Ø14 -
TKB102 Tb = 25.73 [tf/m ²] Duvar Yüğü=1.657 tf/m ✓	Kom.		G'+Q'- Ex-.3Ey+.3Ez	0.9G'+ Ex+.3Ex+.3Ez	1.4G+1.6Q	0.9G'- Ey-.3Ex-.3Ez	G'+Q'+ Ey+.3Ex+.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/20/10
	Md	[tfm]	10.86	-4.14	16.55	2.81	-9.27	Düz : 4Ø14 Pilye : 2Ø18
	As	[cm ²]	6.84	10.96	10.96	1.74	5.82	Üst İlave2Ø18 -
								Alt İlave- -
TKB103 Tb = 25.63 [tf/m ²] Duvar Yüğü=1.657 tf/m ✓	Kom.		0.9G'- Ey-.3Ex-.3Ez	G'+Q'+ Ey+.3Ex+.3Ez		0.9G'- Ey-.3Ex-.3Ez	G'+Q'+ Ey+.3Ex+.3Ez	Montaj : 4Ø14 Etriye : 3Ø8/20/10
	Md	[tfm]	3.65	-5.70	19.66	2.28	-8.74	Düz : 4Ø16 Pilye : 3Ø18
	As	[cm ²]	2.27	3.56	12.59	1.42	5.48	Üst İlave- -
								Alt İlave- -
TKB104 Tb = 25.65 [tf/m ²] Duvar Yüğü=1.657 tf/m ✓	Kom.		0.9G'- Ey-.3Ex-.3Ez	G'+Q'+ Ey+.3Ex+.3Ez	1.4G+1.6Q	G'+Q'- Ex-.3Ey+.3Ez	0.9G'+ Ex+.3Ey-.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/20/10
	Md	[tfm]	4.00	-8.35	16.36	13.04	-4.92	Düz : 4Ø14 Pilye : 2Ø18
	As	[cm ²]	2.48	5.23	10.96	8.24	10.96	Üst İlave- 2Ø16
								Alt İlave- -
TKB105 Tb = 31.29 [tf/m ²] Duvar Yüğü=1.657 tf/m X	Kom.		G'+Q'- Ex-.3Ey+.3Ez	0.9G'+ Ex+.3Ex+.3Ez	1.4G+1.6Q	0.9G'- Ey-.3Ex-.3Ez	G'+Q'+ Ey+.3Ex+.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/10
	Md	[tfm]	15.64	-8.51	7.96	4.78	-5.72	Düz : 4Ø14 Pilye : 2Ø18
	As	[cm ²]	9.94	10.96	10.96	2.97	10.96	Üst İlave2Ø16 -
								Alt İlave- 1Ø14
TKB106 Tb = 19.02 [tf/m ²] Duvar Yüğü=0.65 tf/m ✓	Kom.		0.9G'- Ex-.3Ey-.3Ez	G'+Q'+ Ex+.3Ey+.3Ez	1.4G+1.6Q	0.9G'- Ex-.3Ey-.3Ez	G'+Q'+ Ex+.3Ey+.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/10
	Md	[tfm]	4.94	-6.28	5.96	8.31	-16.86	Düz : 4Ø14 Pilye : 2Ø18
	As	[cm ²]	3.08	10.96	10.96	5.21	10.96	Üst İlave- 1Ø16
								Alt İlave1Ø14 6Ø14
TKB107 Tb = 19.37 [tf/m ²] Duvar Yüğü=0.65 tf/m ✓	Kom.		0.9G'- Ex-.3Ey-.3Ez	G'+Q'+ Ex+.3Ex+.3Ez	1.4G+1.6Q	0.9G'- Ex-.3Ey-.3Ez	G'+Q'+ Ex+.3Ey+.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/10
	Md	[tfm]	1.57	-15.38	5.97	4.16	-6.17	Düz : 4Ø14 Pilye : 2Ø18
	As	[cm ²]	0.97	10.96	10.96	2.59	10.96	Üst İlave- -
								Alt İlave3Ø16 1Ø14
	Kom.		0.9G'- Ex-.3Ey-.3Ez	G'+Q'+ Ex+.3Ey+.3Ez	1.4G+1.6Q	G'+Q'- Ex-.3Ey+.3Ez	0.9G'+ Ex+.3Ey-.3Ez	Montaj : 4Ø12 Etriye : 3Ø8/10

Şekil 7. Sürekli temel taşıma gücü sonuçları

4.2. Tekil temel

TEKİL TEMEL STATİK VE BETONARME SONUÇLARI

B : Tekil temel genişliği

b : Tekil temel kolon yüzündeki genişliği

h_t : Tekil temel kalınlığı

V_d : Tasarım kesme kuvveti

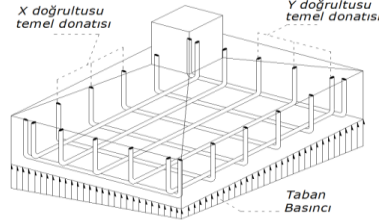
M_d : Tasarım momenti

A_s : Çekme bölgesi donatı alanı

V_{cr} : Kesmede çatılma dayanımı

Z_{tg} : Zemin taşıma gücü

T_b : Taban basıncı



İsim	Yön	Adlar			Etkiler		As [cm ²]	Donatı	Kesme Güvenliği		Tb Ztg = 30 (tf/m ²)
		B [cm]	b [cm]	hf [cm]	Vd [tf]	Md [tfm]			Vcr	Vd < Vcr	
1. BODURM											
TB134 (SB104)	X	200	70	40	8.25	1.23	1.10	10014	51.81	✓	7.47 ✓
	Y	200	30		11.57	2.32	2.08	10014	51.81	✓	
TB135 (SB109)	X	200	70	40	11.84	2.36	2.12	10014	51.81	✓	7.85 ✓
	Y	200	30		9.00	1.35	1.21	10014	51.81	✓	
TB136 (SB111)	X	200	130	40	51.92	10.32	9.59	13014	51.81	✗	33.65 ✗
	Y	200	30		19.37	1.45	1.30	10014	51.81	✓	
TB137 (SB134)	X	200	40	40	8.77	1.65	1.48	10014	51.81	✓	6.13 ✓
	Y	200	40		8.35	1.56	1.40	10014	51.81	✓	
TB138 (SB144)	X	200	70	40	12.66	2.53	2.28	10014	51.81	✓	8.24 ✓
	Y	200	30		9.30	1.39	1.25	10014	51.81	✓	
TB139 (SB149)	X	200	70	40	19.05	2.88	2.59	10014	51.81	✓	16.81 ✓
	Y	200	30		24.01	4.78	4.34	10014	51.81	✓	
TB140 (SB154)	X	200	70	40	29.52	5.87	5.36	10014	51.81	✓	19.44 ✓
	Y	200	30		22.11	3.31	2.98	10014	51.81	✓	
TB141 (SB114)	X	200	70	40	11.85	2.37	2.13	10014	51.81	✓	7.84 ✓
	Y	200	30		8.97	1.35	1.21	10014	51.81	✓	
TB142 (SB119)	X	200	70	40	11.59	2.33	2.09	10014	51.81	✓	7.85 ✓
	Y	200	30		8.70	1.31	1.17	10014	51.81	✓	
TB143 (SB139)	X	200	40	40	8.75	1.65	1.48	10014	51.81	✓	6.40 ✓
	Y	200	40		8.77	1.65	1.48	10014	51.81	✓	
TB144 (SB129)	X	200	130	40	19.36	1.45	1.30	10014	51.81	✓	33.66 ✗
	Y	200	30		52.00	10.34	9.61	13014	51.81	✗	
TB145	X	200	70	40	24.07	4.80	4.36	10014	51.81	✓	16.77 ✓

Şekil 8. Tekil temel taşıma gücü sonuçları

4.3. Radye temel

RADYE TEMEL TABAN BASINCI

D.n Adı	x [m]	y [m]	Yükleme	Öteleme [mm]	Taban Basıncı [tf/m ²]	D.n Adı	x [m]	y [m]	Yükleme	Öteleme [mm]	Taban Basıncı [tf/m ²]
1. BODRUM											
DB101-1	13.67	4.31	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.06	10.31 ≤ 30.00 ✓	DB101-2	13.08	4.18	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.06	10.32 ≤ 30.00 ✓
DB101-3	13.15	3.83	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.23	11.16 ≤ 30.00 ✓	DB101-4	13.63	3.90	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.24	11.20 ≤ 30.00 ✓
DB101-5	12.61	3.04	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.64	13.21 ≤ 30.00 ✓	DB101-6	12.04	3.16	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.52	12.61 ≤ 30.00 ✓
DB101-7	12.25	2.77	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.76	13.78 ≤ 30.00 ✓	DB101-8	12.82	2.67	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.90	14.49 ≤ 30.00 ✓
DB101-9	10.15	11.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.96	14.79 ≤ 30.00 ✓	DB101-10	10.15	11.35	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.06	15.32 ≤ 30.00 ✓
DB101-11	10.05	11.30	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.03	15.13 ≤ 30.00 ✓	DB101-12	10.00	11.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.96	14.80 ≤ 30.00 ✓
DB101-13	12.05	7.07	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	1.87	9.35 ≤ 30.00 ✓	DB101-14	12.32	7.54	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	1.89	9.45 ≤ 30.00 ✓
DB101-15	12.01	7.83	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	1.84	9.19 ≤ 30.00 ✓	DB101-16	11.61	7.42	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	1.83	9.15 ≤ 30.00 ✓
DB101-17	7.15	10.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.22	11.09 ≤ 30.00 ✓	DB101-18	7.00	10.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.22	11.11 ≤ 30.00 ✓
DB101-19	7.07	9.34	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	1.91	9.56 ≤ 30.00 ✓	DB101-20	7.32	9.34	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	1.91	9.53 ≤ 30.00 ✓
DB101-21	13.20	3.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.74	13.72 ≤ 30.00 ✓	DB101-22	12.98	3.05	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.68	13.41 ≤ 30.00 ✓
DB101-23	13.01	2.79	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.85	14.24 ≤ 30.00 ✓	DB101-24	13.20	2.65	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.96	14.81 ≤ 30.00 ✓
DB101-25	3.80	2.30	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.12	15.58 ≤ 30.00 ✓	DB101-26	3.80	2.65	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.93	14.66 ≤ 30.00 ✓
DB101-27	3.66	2.72	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.91	14.54 ≤ 30.00 ✓	DB101-28	3.66	2.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.04	15.18 ≤ 30.00 ✓
DB101-29	10.02	11.76	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.33	16.63 ≤ 30.00 ✓	DB101-30	12.12	11.76	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.43	17.14 ≤ 30.00 ✓
DB101-31	16.70	12.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	4.13	20.64 ≤ 30.00 ✓	DB101-32	8.50	12.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.48	17.40 ≤ 30.00 ✓
DB101-33	1.10	7.80	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.30	11.49 ≤ 30.00 ✓	DB101-34	1.02	8.04	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.36	11.82 ≤ 30.00 ✓
DB101-35	0.91	8.03	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.38	11.91 ≤ 30.00 ✓	DB101-36	0.95	7.80	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.33	11.64 ≤ 30.00 ✓
DB101-37	9.78	4.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.74	13.71 ≤ 30.00 ✓	DB101-38	9.78	5.60	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.54	12.68 ≤ 30.00 ✓
DB101-39	9.62	5.68	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.54	12.68 ≤ 30.00 ✓	DB101-40	9.62	4.36	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.77	13.83 ≤ 30.00 ✓
DB101-41	9.48	4.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.79	13.94 ≤ 30.00 ✓	DB101-42	8.50	4.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.88	14.40 ≤ 30.00 ✓
DB101-43	8.95	4.36	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.91	14.54 ≤ 30.00 ✓	DB101-44	10.15	10.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.18	10.88 ≤ 30.00 ✓
DB101-45	10.15	10.60	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.55	12.75 ≤ 30.00 ✓	DB101-46	10.00	10.60	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.55	12.74 ≤ 30.00 ✓
DB101-47	10.00	10.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.17	10.87 ≤ 30.00 ✓	DB101-48	10.15	11.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.43	17.13 ≤ 30.00 ✓
DB101-49	2.50	11.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.52	17.61 ≤ 30.00 ✓	DB101-50	2.49	11.35	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.43	17.15 ≤ 30.00 ✓
DB101-51	3.50	11.35	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.33	16.64 ≤ 30.00 ✓	DB101-52	1.10	11.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.56	17.79 ≤ 30.00 ✓
DB101-53	1.01	11.36	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.65	18.27 ≤ 30.00 ✓	DB101-54	0.92	11.30	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.63	18.15 ≤ 30.00 ✓
DB101-55	0.95	11.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.58	17.88 ≤ 30.00 ✓	DB101-56	0.80	8.20	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.44	12.20 ≤ 30.00 ✓
DB101-57	0.80	9.70	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.87	14.36 ≤ 30.00 ✓	DB101-58	0.72	9.92	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.98	14.90 ≤ 30.00 ✓
DB101-59	0.72	9.16	G'+Q'-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.68	13.42 ≤ 30.00 ✓	DB101-60	16.46	9.66	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.93	14.66 ≤ 30.00 ✓
DB101-61	16.41	11.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.66	18.29 ≤ 30.00 ✓	DB101-62	16.31	9.96	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.04	15.19 ≤ 30.00 ✓
DB101-63	13.20	2.30	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.13	15.67 ≤ 30.00 ✓	DB101-64	13.35	2.30	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.15	15.74 ≤ 30.00 ✓
DB101-65	13.40	2.42	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.10	15.49 ≤ 30.00 ✓	DB101-66	13.34	2.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.05	15.27 ≤ 30.00 ✓
DB101-67	6.85	11.50	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.25	16.23 ≤ 30.00 ✓	DB101-68	6.85	11.35	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.14	15.71 ≤ 30.00 ✓
DB101-69	6.95	11.30	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.10	15.52 ≤ 30.00 ✓	DB101-70	7.00	11.35	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.14	15.69 ≤ 30.00 ✓
DB101-71	3.85	11.56	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.43	17.16 ≤ 30.00 ✓	DB101-72	4.23	11.62	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.44	17.18 ≤ 30.00 ✓
DB101-73	2.87	11.69	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.60	17.99 ≤ 30.00 ✓	DB101-74	3.21	11.55	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.49	17.43 ≤ 30.00 ✓
DB101-75	13.34	2.72	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	2.94	14.68 ≤ 30.00 ✓	DB101-76	6.78	1.93	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.08	15.40 ≤ 30.00 ✓
DB101-77	6.47	2.00	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.03	15.15 ≤ 30.00 ✓	DB101-78	4.90	2.14	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.00	15.01 ≤ 30.00 ✓
DB101-79	3.62	2.08	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.25	16.27 ≤ 30.00 ✓	DB101-80	12.72	2.23	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.13	15.65 ≤ 30.00 ✓
DB101-81	12.44	2.16	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.14	15.71 ≤ 30.00 ✓	DB101-82	16.20	11.20	G'+Q'-Ey-0.3Ex+0.3Ez	3.64	18.18 ≤ 30.00 ✓

Şekil 9. Radye temel taşıma gücü sonuçları

5. SONUÇ

Bu makalede, tekil temel, sürekli temel ve radye temeli gibi farklı temel tiplerinin dayanım özelliklerine ve zemin taşıma gücüne odaklandık. Rijitlik, temellerin taşıma kapasitesini ve dayanıklılığını etkileyen önemli bir faktördür. Ayrıca, zemin taşıma gücü de temel tasarımında kritik bir faktördür. Sonuç olarak, temellerin yapısal tasarımı, yapı sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Ancak, mevcut uygulamalar genellikle temel altındaki zeminin özelliklerini yeterince dikkate almadığından ve yapı-zemin etkileşimini ihmal ettiğinden, yaklaşık yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu durum, yapıların gerçek zemin davranışını yansıtmayan ve güvenliği tehdit edebilen tasarımlarla sonuçlanabilir. Gerçek bir yapı-zemin etkileşiminin ele alınabilmesi için, yatak katsayısı gibi zeminin gerçek tepkisini yansıtacak parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Yatak katsayısı, zeminin elastik ve plastik davranışını karakterize eden bir faktördür ve temel tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Bu parametre, üstyapıdan aktarılan yükler altında zeminin gerçek davranışını yansıtan bir model oluşturmayı sağlar. Yapı-zemin etkileşimi, yapıların güvenli ve sağlam olmasını sağlamak için dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Ancak, bu etkileşimin gerçekçi bir şekilde ele alınabilmesi için daha ileri analitik yöntemlerin, gelişmiş sayısal modellemelerin ve deneysel verilerin kullanılması gerekmektedir. Bu yaklaşımlar, zeminin taşıma kapasitesini, yer değiştirmelerini ve etkileşim sonucu oluşabilecek yatay kuvvetleri hesaba katarak daha doğru ve güvenilir temel tasarımlarının gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Sonuç olarak, temel tasarımında yapı-zemin etkileşimi ihmal edilmemeli ve zeminin gerçek davranışı dikkate alınmalıdır. Gelecekteki çalışmalar, daha detaylı zemin incelemeleri, gerçekçi yatak katsayılarının kullanımı ve ileri analitik yöntemlerin benimsenmesi üzerine odaklanmalıdır. Bu şekilde, yapıların deprem etkisi altında güvenli ve dayanıklı olmasını sağlamak için temellerin daha iyi bir şekilde tasarlanması mümkün olacaktır. Bu projede sürekli, tekil ve radye temeller gerçek bir yapı için karşılaştırılmıştır. Bu kapsam da binanın yapılacağı zeminin taşıma gücü $30 \text{ [tf/m}^2\text{]}$ olarak belirlenmiştir. Uygun parametreler de sürekli ve tekil temelin taşıma gücünde yer yer yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Tekil ve sürekli temeller daha bölgesel bir yük dağılımı yaparken radye temel binanın yükünü temele yaymaktadır. Sürekli ve tekil temeller de kesit büyütürerek maksimum zemin taşıma gücünün altına düşürülebilmektedir fakat bu ekonomik açıdan uygun bir tasarım olmayacaktır.

- Sürekli temellerde idecad ile yapılan analizlerde yer yer yetersiz kalmıştır. TKB101 $30,92 \text{ [tf/m}^2\text{]}$ ve TKB105 $31,29 \text{ [tf/m}^2\text{]}$ gelerek zemin taşıma kapasitesini aşmıştır.
- Tekil temellerde idecad ile yapılan analizlerde de yer yer yetersiz kalmıştır. TTB136 $33,65 \text{ [tf/m}^2\text{]}$ ve TTB144 $33,66 \text{ [tf/m}^2\text{]}$ gelerek zemin taşıma kapasitesi altın da kalmıştır.
- Radye temellerde ise aynı şartlarda yeterli gelip çok daha güvenli tarafta kalmıştır.

Radye temeller daha düşük temel yüksekliği ile zemin taşıma gücünün altında kalarak hem güvenli tarafta hem de ekonomik tarafta kalmaktadır. Nitekim Radye temeller bina yükünü daha geniş alana dağıttığı için tasarım açısından da daha uygun bir temel sistemi olacaktır. Sonuç olarak zemin etütleri doğrultusunda yapının yapılacağı bölgedeki zemin bölgesel ciddi farklılık göstermediği sürece tekil temel ve sürekli temellerden kaçınılmalıdır. Radye temeller bina tasarımı açısından daha güvenli bir tasarım olacaktır. Bu çalışmada temel seçiminin ne kadar önemli olduğunu ve temel seçiminde gerekli zemin çalışmalarının önemi ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1]. A. Bozer, "Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*
- [2]. Azimi P. Gazi H., Alhan C., "Zemin Büyütme Katsayılarının Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Sismik Performans Potansiyeline ve Maliyetine Etkileri", *Teknik Dergi*, 8803-8834, (2019).
- [3]. İpek, C., A. H. Kuzucuoglu, and M. R. Kıstır. "Yapısal olmayan sistemlerin deprem etkileri açısından değerlendirilmesi." *IBEEES2015, Burdur 7.9* (2015): 197-206
- [4]. İpek, C., Deprem etkisi altındaki yapısal olmayan sistemlerin incelenmesi. *Proceedings of the Kocaeli 2015 5th International Earthquake Symposium*, pp. 187–199, 2015.
- [5]. Mısırlı İ. S. (2004): "Farklı Oturmaların Yapı Taşıyıcı Sistemine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

- [6]. Koçer M., Nakipoğlu A., Öztürk B., Al-Hagri M.G., Arslan M.H., “Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY2018 ve TDY2007'ye göre Karşılaştırılması”, Selçuk Teknik Dergisi, 17(2): 43-58, (2018).
- [7]. Köseoğlu S. (1987): “Temeller Statiği ve Konstrüksiyonu”, Cilt 2 (3. Basım), İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- [8]. RICHARDS, R., ELMS, D.G., BUDHU, M. (1990). Dynamic fluidization of soils, journal of Geotechnical Engineering, Vol. 116, No. 5, pp. 740-759.
- [9]. TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Ankara.
- [10]. TS500.(2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE, ANKARA.
- [11].Türkmen M., Tekeli H., “Deprem Bölgesi ve Yerel Zemin Sınıfının Bina Maliyetine Etkileri”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3): 127- 130, (2005).