

# KUYU TEMEL MALİYETİNİN DEPREM RİSKİNE GÖRE DEĞİŞİMİ

VARIATION OF WELL FOUNDATION COST ACCORDING TO EARTHQUAKE RISK

Eray AFŞAR \*, Gamze BİLGİN \*\*

## ÖZET

Bu çalışmada kuyu temeller üzerinde maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, kuyu temellerin yapılacağı alandaki deprem riski etmenlerine odaklanılmıştır. Yapılan hesaplarının gerçekleştirilmesinde İstCAD 2021 yazılım programı kullanılmıştır. Hesaplamalarda, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esas alınmıştır. Maliyet analizlerinde ise Çevre Şehircilik Bakanlığı 2021 birim fiyatları kullanılmıştır. Deprem riski ile ilgili katsayılar da zeminin sınıfı da göz önüne alınmıştır. Böylece, inşa faaliyetlerinin gerçekleştirileceği bölgede bulunan zemin sınıfı da hesaplamalarda kullanılmıştır. Deprem riskinin maliyete etkisinin belirlenebilmesi için, farklı geoteknik özelliklere sahip zemin sınıfları ve farklı risklerde deprem bölgeleri seçilmiş, seçilen etmenlerin farklı kombinasyonları ile, toplamda 54 olası durum üzerinde çalışılmıştır. Her bir durum için, TBDY-2018 esas alınarak, kuyu temel analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, demir, beton, kalıp ve kazı metrajları elde edilmiştir. Metraj verileri 2021 birim fiyatlarına göre hesaplanarak maliyet analizleri tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda, deprem bölgeleri için "tasarım spektral ivme katsayıları"nın ve "zeminin sıklık derecesi", "içsel sürtünme açısı" gibi geoteknik özelliklerinin kuyu temel boyutlarını dolayısı ile maliyetlerini etkileyen en önemli etmenler olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kuyu Temel Maliyeti, Zemin Sınıfı, Deprem Bölgesi

## ABSTRACT

In this study, cost analyses of well foundations were studied. the class of the soil in the area where the well foundations will be constructed, and the earthquake risk factor of the region were considered as the factors affecting the cost in the analyses made. IstCAD-2021 software program, Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) principles and Ministry of Environment and Urbanization 2021-unit prices were used in cost calculations. Analyses were carried out for a total of 54 possible situations by making different combinations of the selected factors such as soil class and earthquake risk. For each possible case, well foundation analyses were made in accordance with TBDY-2018. The cost analyses were completed by calculating the quantity data according to the unit prices of 2021. As a result of the study, it has been seen that "design spectral acceleration coefficients" for earthquake zones and "internal friction angles" and "relative density" for soil class are the most important factors affecting well foundation dimensions and thus costs.

**Keywords:** Well Foundation Cost, Soil Class, Earthquake

Geliş Tarihi /Received: 22.09.2021  
Kabul Tarihi /Accepted: 25.09.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

\*  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak  
Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak,  
Türkiye

Department of Civil Engineering,  
Zonguldak Bülent Ecevit University,  
Zonguldak / Turkey

ORCID: 0000-0002-7874-6326

\*\*  
İnşaat Bölümü,  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi,  
Zonguldak, Türkiye

Department of Construction,  
Zonguldak Bülent Ecevit University,  
Zonguldak/ Turkey

ORCID: 0000-0002-2840-7369

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda kentlerin hızla gelişmesi ve nüfusun artmasına bağlı olarak dar alanlarda, mevcut binalara bitişik inşa edilen çok katlı yapı sayılarında büyük artışlar meydana gelmiştir. Şehirleşme hızının artışıyla doğru orantılı bir şekilde arsa değerleri de artmış, kent nüfusunun hızla artmasıyla birlikte alt yapı hizmetlerine (kanalizasyon, otopark, metro vb.) olan ihtiyaç çoğalmıştır (Canpolat, 2019; Özyayın & Baz, 2021). Aynı zamanda şehir merkezlerinde boş parseller azalmış, maliyetler artmış, imar yönetmeliklerine bağlı olarak zemin üstündeki yapı hacimleri sınırlanmış ve mevcut arazileri daha verimli kullanmak zorunlu hale gelmiştir (Eriş & Say-Özer, 2021). Yapıların yüksek katlı olması (zemine aktarılan yüklerin fazlalığı) derin kazılar yapılması gereğini doğurmaktadır. Ancak, dar alanlarda derin kazılar yapılması tek başına oldukça zorlu ve pahalı bir mühendislik, ekipman ve işçilik sorunu oluştururken aynı zamanda kazı alanının stabilitesi, göçmesi, aşırı deformasyon oluşumu gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Uygulamada, kuyu temel sistemi tüm bu sorunlara çözüm getirebilecek bir sistem olarak görülmektedir (Bayram et al., 2016).

Kuyu temeller, derin temel çeşitlerinden olan ayak temeller grubunda yer alır. Ayak temeller inşa şekillerine göre kuyu temeller ve keson temeller olarak farklı şekillerde adlandırılır. Bazı kaynaklarda çapları 75 cm. den büyük olan fore kazıklar da ayak temeller sınıfında ele alınmaktadır (Holtz et al., 2015). Gerek zemin özelliklerinden gerek yapı yüklerinden dolayı tek bir kazık ile güvenliliğin sağlanamadığı, birkaç kazık grubunun birlikte kullanılması gerektiği durumlarda tercih edilen kuyu temeller, bitişik nizam

durumundaki, kazık makinalarının çalışmayacağı, proje alanının kısıtlı olduğu parsellerde, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması ve zeminin kendini tutabilmesi halinde kazı çukurunun dengesinin sağlanmasına da yardımcı olmaktadır (Herrmann & Bucksch, 2014). Böylece, sadece inşası yapılan yapının değil mevcut yapıların da güvenliğini sağlama olanağı sunmaktadır. Kuyu temel imalatları, zemin türüne ve yeraltı su seviyesine bağlı olarak 20-30 m derinliğe kadar yatay anolar halinde gerçekleştirilir. Kuyu temel perdeleri konsol çalışmakta olup kuyu derinliği, kazı tabanının oldukça altına indirilmektedir. Kuyu temel sistemlerinin büyük makine ihtiyacı olmadan, elle kazı yapılmasına da imkan veriyor olması ve istenilen derinliğe kadar inilebilmesi, dar alanlarda çalışılması için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Yer kayıplarının minimumda tutulması gereken hallerde ve farklı arazi şekillerinde betonarme kuyu temel imalatları da yapılabilir. Kuyu temel perdeleri çoğu zaman binanın taşıyıcı perdeleri olarak kullanılabilir. Kuyu temel perdeleri imalatına gereksinim kalmamaktadır. Kuyu temelin betonarme perdeleri üzerinde yapılacak detay düzeltmeleri ile bina izolasyonu için uygun yüzeyler oluşturulabilir. Bu sebeple, özellikle yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu bölgelerde, diğer temel sistemlerine göre daha ekonomiktir. Bütün bu özelliklerinden dolayı kuyu temeller, oldukça tercih edilen sistemler arasındadır.

Öte yandan, literatürde bulunan çalışmalarda, yapı temelleri tasarımlarının bir yapı-zemin etkileşimi olarak ele alınması gerektiği ancak, ülkemizde temel ile temel altındaki zeminin geoteknik özelliklerinin yeterince dikkate alınmadığı, onun yerine yaklaşık yöntemler kullanıldığı belirtilmektedir (Çinicioğlu, 2005). Oysaki, tasarımda etkili geoteknik veriler incelenmeden, bunlara harcanacak paradan kaçınılarak seçilen temel sistemlerinin, ilerleyen zamanlarda gerek taşıma gücü yetersizliği gerek farklı oturma sorunları gibi sebepler ile, olası inceleme ücretlerinin oldukça üstünde maliyetlerde masraflar çıkmaktadır (Girgin et al., 2008). Bunun yanında, ülkemizde temel tasarım aşamalarındaki rutinlerin tartışılması gerektiği, proje temellerinin tasarlanmasında, güvenli bölgede kalmak adına, aşırı maliyetli tercihler de yapıldığı belirtilmektedir (Arslan et al., 2018).

Bu çalışmada, kuyu temel uygulamalarında bir takım maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmada, rölatif sıklık derecesi, zemin sınıfı gibi geoteknik özelliklerdeki farklılıkların, kuyu temel sisteminin maliyetini değiştirip değiştirmediği, herhangi bir zemin sınıfı için yapılmış olan hesapların diğer zemin tipleri için kullanılıp kullanılmayacağı sorusunun cevabı araştırılmıştır. Ek olarak, yapı alanının bulunduğu bölgeye ait deprem riski de hesaplamalara yansıtılmıştır. Böylece, farklı deprem bölgelerinde bulunan aynı zemin sınıfındaki zeminlerin maliyetleri kıyaslanarak irdelenmiştir.

## 2. METODOLOJİ

Yapılan çalışmada farklı zemin türlerinde ve değişik deprem bölgelerinde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esasları dikkate alınarak ve İstCAD-2021 yazılım programı kullanılarak betonarme perde duvarlı kuyu temel analizleri yapılmıştır. Uygulamada zemin sınıflarının etkisinin irdelenmesi adına, altı farklı zemin sınıfı seçilmiştir.

Bu zeminler; düşük plastisiteli inorganik silt (ML), siltli kum (SM), kötü derecelenmiş kum (SP), iyi derecelenmiş kum (SW), kötü derecelenmiş çakıl (GP), iyi derecelenmiş çakıl (GW) dir. Seçilen zeminlerin, %0, %50, %100 şeklinde üç farklı rölatif sıklık değerlerinde olma durumları ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır. Böylece toplamda 18 adet olmak üzere, Tablo 1' de sunulmuş olan farklı geoteknik özelliklere sahip zeminler, uygulama zeminleri olarak incelenmiştir. Seçilen zeminlerin yoğunluk, içsel sürtünme açısı gibi geoteknik özellikleri için Şekil 1' deki grafikten yararlanılmıştır. Duvar zemin arası sürtünme açısı için  $\delta=2/3\phi$  yaklaşımı yapılmış ve hesaplamalarda yerel zemin sınıfı olarak ZC esas alınmıştır.

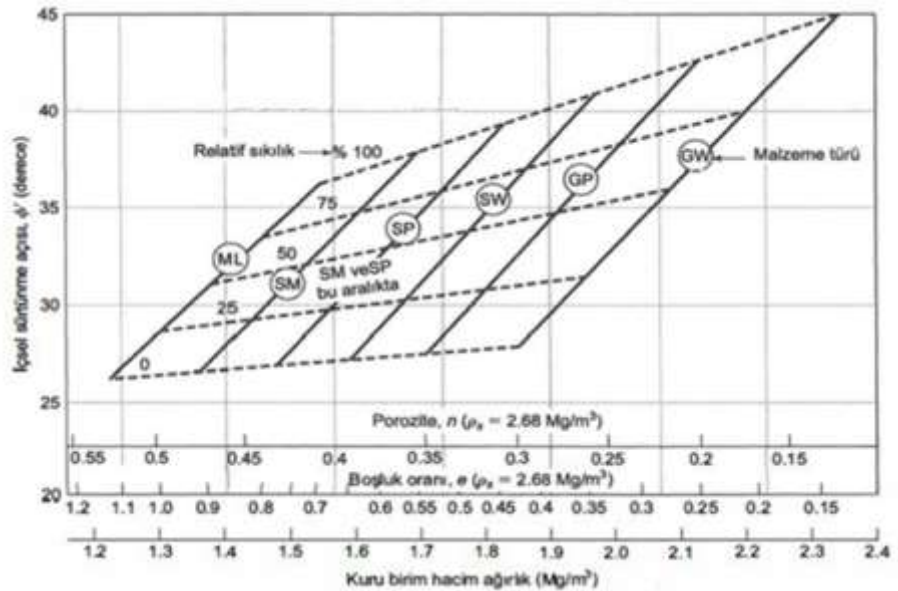
Kuyu temel uygulamasında deprem bölgesinin etkisinin belirlenmesi için ise, üç farklı bölge seçilmiştir. Seçilen bölgeler yüksek riskli (1. derece) deprem bölgesini temsilen Düzce, orta riskli (2. derece) deprem bölgesini temsilen Zonguldak ve düşük riskli (5. derece) deprem bölgesini temsilen Karaman illeridir. Böylece, üç farklı deprem bölgesi ve zeminlerin geoteknik özellikleri ile yapılan kombinasyonlar ile, toplamda elli dört (54) farklı uygulama için betonarme perde duvarlı kuyu temel analizleri gerçekleştirilmiştir.

Veri No	Zemin Sınıfı	Dr (%)	( $\phi$ ) (°)	$\delta$ (°)	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	w (%)	$\gamma_k$ (t/m <sup>3</sup> )
1	ML	0	25,50	17,00	1,22	1,00	0,61
2	SM	0	26,00	17,33	1,37	1,00	0,69
3	SP	0	26,50	17,67	1,48	1,00	0,74
4	SW	0	27,00	18,00	1,59	1,00	0,80
5	GP	0	27,50	18,33	1,71	1,00	0,86
6	GW	0	28,00	18,67	1,85	1,00	0,93
7	ML	50	33,00	22,00	1,38	1,00	0,69
8	SM	50	34,00	22,67	1,54	1,00	0,77
9	SP	50	33,00	22,00	1,64	1,00	0,82
10	SW	50	34,00	22,67	1,78	1,00	0,89
11	GP	50	34,50	23,00	1,91	1,00	0,96
12	GW	50	36,50	24,33	2,18	1,00	1,09
13	ML	100	37,00	24,67	1,53	1,00	0,77
14	SM	100	38,00	25,33	1,69	1,00	0,85
15	SP	100	39,00	26,00	1,81	1,00	0,91
16	SW	100	41,00	27,33	1,95	1,00	0,98
17	GP	100	42,50	28,33	2,13	1,00	1,07
18	GW	100	45,00	30,00	2,34	1,00	1,17

Tablo 1. Çalışmada kullanılan zemin sınıfları ve zemin parametreleri

Dr: Rölatif sıklık;  $\phi$ : İçsel sürtünme açısı;  $\delta$ : Duvar zemin arası sürtünme açısı;  $\gamma_d$ : Doymun birim hacim ağırlık; w: Su muhtevası;  $\gamma_k$ : Kuru birim hacim ağırlık

TBDY-2018 gereği, yapılan analizlerde seçilen illerin 22.01.2018 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanan ortalama kısa periyot harita spektral ivme katsayıları kullanılmıştır (Tablo 1). İllere ait katsayılar yönetmelik gereği parsel bazında olduğundan, her bir il için ilgili değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Böylece, TBDY-2018 den kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları ( $F_s$ ) bulunmuş ve bulunan  $F_s$  değerlere göre tasarım spektral ivme katsayıları hesaplanmıştır. Çalışmada belirlenen illerin analizlerde kullanılan deprem parametreleri Tablo 2’ de gösterilmektedir.



Şekil 1. Zemin sınıflarına ait bazı geoteknik parametre değerleri (Holtz et al., 2015)

Deprem bölgeleri ve seçilen zeminler için İstCAD-2021 yazılım programı kuyu temel modülü kullanılarak kuyu temel analizleri gerçekleştirilmiştir. İstCAD-2021 yazılımı aracılığı ile yapılan analizlerde, “TS 7994/Şubat 1990 zemin dayanma yapıları” yönetmeliğine uygun olarak, zemin taşıma gücü, kayma tahkiki, devrilme tahkiki ve toptan göçme analizleri, statik hesaplar ek olarak da “TS 500” uyarınca betonarme kesit hesapları da yapılmıştır. Statik ve betonarme hesaplarında, beton sınıfı C30, demir sınıfı ise S420 (nervürlü donatı) seçilmiştir.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan deprem parametreleri

İl	S <sub>s</sub>	F <sub>s</sub>	S <sub>Ds</sub>
Düzce	1,342	1,20	1,61
Zonguldak	0,528	1,29	0,68
Karaman	0,233	1,30	0,30

Ss: Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayı; Fs: Yerel Zemin Etki Katsayısı; SDS: Tasarım Spektral İvme Katsayısı

TBDY-2018 esaslarına göre yapılan analizlerde, ilk olarak kuyu ebatları belirlenmiştir. Belirlenen kuyu temel ebatlarına göre metraj hesapları yapılmış ve Tablo 3'te sunulan "2021 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyatları" na göre kuyu temellerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Elde edilen metrajlardan kuyu temellerinin maliyetleri hesaplanmıştır.

2021 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyatları

Donatı (İnce) (ton/TL)	Donatı (Kalın) (ton/TL)	Beton (m <sup>3</sup> /TL)	Kalıp (m <sup>2</sup> /TL)	Kazı (m <sup>3</sup> /TL)
7415,10	7354,10	291,94	82,78	7,09

Tablo 3. 2021 Yılı birim fiyatları

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deprem Olasılığı	S <sub>s</sub>	Rölatif Sıklık (%)	Zemin Türü	Donatı (İnce) (kg)	Donatı (Kalın) (kg)	Beton (m <sup>3</sup> )	Kalıp (m <sup>2</sup> )	Kazı (m <sup>3</sup> )	
Yüksek (Düzce)	1,342	0	SP	3050,1	65913,6	1320,0	416,0	2040,0	
		50		3721,6	10647,0	305,3	205,7	602,3	
		100		1112,5	2697,4	103,5	163,8	180,0	
Orta (Zonguldak)	0,528	0		919,3	1978,9	78,8	160,5	123,8	
		50		791,0	1612,3	66,8	158,9	105,0	
		100		1143,5	836,7	57,0	157,6	86,3	
Düşük (Karaman)	0,233	0		1281,2	836,7	63,0	158,4	101,3	
		50		1086,9	836,7	54,0	157,2	78,8	
		100		765,7	747,3	41,3	155,5	52,5	
Yüksek (Düzce)	1,342	0		SW	3718,3	82863,8	1714,5	498,6	2504,3
		50			3044,9	7989,9	264,0	200,2	511,5
		100			1093,6	2540,4	100,5	163,4	172,5
Orta (Zonguldak)	0,528	0	756,2		1802,9	76,5	160,2	123,8	
		50	1198,0		747,3	62,3	158,3	105,0	
		100	770,4		597,9	41,3	155,5	75,0	
Düşük (Karaman)	0,233	0	637,5		1496,1	64,5	158,6	105,0	
		50	972,9		747,3	51,8	156,9	78,8	
		100	731,1		524,4	29,3	153,9	45,0	
Yüksek (Düzce)	1,342	0	GP		3934,6	89519,9	1845,0	516,0	2700,0
		50			2791,4	7764,6	252,8	198,7	486,8
		100			863,3	2266,1	94,5	162,6	168,8
Orta (Zonguldak)	0,528	0		625,3	1540,0	71,3	159,5	127,5	
		50		1198,0	747,3	62,3	158,3	105,0	
		100		766,6	579,5	38,3	155,1	67,5	
Düşük (Karaman)	0,233	0		1246,0	747,3	63,8	158,5	108,8	
		50		1013,3	836,7	54,0	157,2	78,8	
		100		517,2	687,0	24,0	153,2	37,5	
Yüksek (Düzce)	1,342	0		GW	4430,9	107366	2141,3	570,5	3063,8
		50			2111,1	5678,4	193,2	181,8	382,2
		100			693,4	1882,7	84,8	161,3	161,3
Orta (Zonguldak)	0,528	0	627,2		1596,9	72,8	159,7	131,3	
		50	931,9		659,4	54,0	157,2	101,3	
		100	733,0		532,7	30,8	154,1	48,8	
Düşük (Karaman)	0,233	0	605,7		1427,8	65,3	158,7	112,5	
		50	895,6		705,3	48,0	156,4	75,0	
		100	482,4		687,0	18,0	152,4	22,5	

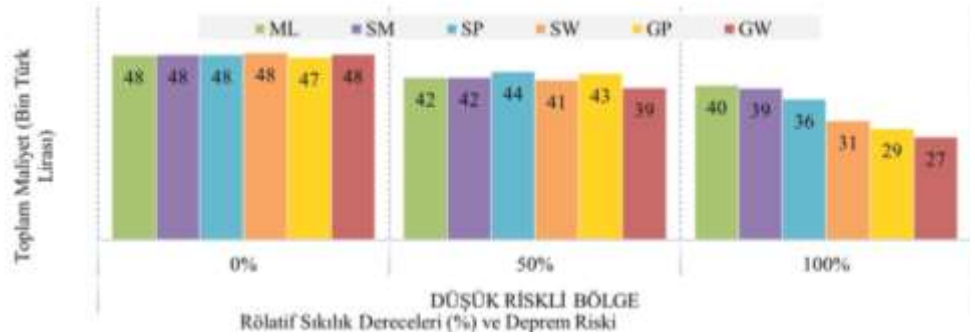
Tablo 4. Analiz sonucunda belirlenen kuyu temel ebatlarına göre metrajlar (1)

Analizlerde, İstCAD 2021 yazılım programı aracılığı ile 54 farklı koşul için 3,00 m (H1) yüksekliğe sahip kuyu temel perde duvarı olacak şekilde kuyu temel modellemesi yapılmıştır. Tasarlanan kuyu temel modelinde, duvar arkasında kullanılan zemin türüne göre duvar kalınlığı (B1), temel ampatman boyu (B2), ve temel kalınlığı (H2) değerleri değiştirilmiştir. Her bir durum için ayrı ayrı olmak üzere, malzeme ve yöntem bölümünde sıralanmış olan tahkikler ve hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda, güvenli bölgede kalacak şekilde kuyu temellerinin ebatları belirlenmiştir. Belirlenen ebatlara göre temele etki eden kesme kuvveti ve moment değerleri bulunmuş ve bulunan değerler ışığında kuyu temellerin beton, demir, kalıp ve kazı metrajları elde edilmiştir. Değişen deprem riski bölgesine ve değişen zemin koşullarına göre belirlenen kuyu temel ebatlarına ait metrajlar Tablo 4 ve Tablo 5'te sunulmaktadır. Elde edilen metrajlardan kuyu temellerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Maliyet hesaplamalarında, Tablo 3'te verilen, 2021 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyatları kullanılmıştır. Maliyet hesaplamalarında malzeme ve işçilik dahil edilmiştir. Nakliye maliyeti ise dahil edilmemiştir. Deprem riskinin düşük, orta veya yüksek olması durumuna göre, zemin koşullarının değişiminin maliyetlere etkisi ise Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 da sunulmaktadır.

Deprem Olasılığı	Ss	Rölatif Sıklık (%)	Zemin Türü	Donatı (İnce) (kg)	Donatı (Kalın) (kg)	Beton (m <sup>3</sup> )	Kalıp (m <sup>2</sup> )	Kazı (m <sup>3</sup> )	
Yüksek (Düzce)	1,342	0	SP	3050,1	65913,6	1320,0	416,0	2040,0	
		50		3721,6	10647,0	305,3	205,7	602,3	
		100		1112,5	2697,4	103,5	163,8	180,0	
Orta (Zonguldak)	0,528	0		919,3	1978,9	78,8	160,5	123,8	
		50		791,0	1612,3	66,8	158,9	105,0	
		100		1143,5	836,7	57,0	157,6	86,3	
Düşük (Karaman)	0,233	0		1281,2	836,7	63,0	158,4	101,3	
		50		1086,9	836,7	54,0	157,2	78,8	
		100		765,7	747,3	41,3	155,5	52,5	
Yüksek (Düzce)	1,342	0		SW	3718,3	82863,8	1714,5	498,6	2504,3
		50			3044,9	7989,9	264,0	200,2	511,5
		100			1093,6	2540,4	100,5	163,4	172,5
Orta (Zonguldak)	0,528	0	756,2		1802,9	76,5	160,2	123,8	
		50	1198,0		747,3	62,3	158,3	105,0	
		100	770,4		597,9	41,3	155,5	75,0	
Düşük (Karaman)	0,233	0	637,5		1496,1	64,5	158,6	105,0	
		50	972,9		747,3	51,8	156,9	78,8	
		100	731,1		524,4	29,3	153,9	45,0	
Yüksek (Düzce)	1,342	0	GP		3934,6	89519,9	1845,0	516,0	2700,0
		50			2791,4	7764,6	252,8	198,7	486,8
		100			863,3	2266,1	94,5	162,6	168,8
Orta (Zonguldak)	0,528	0		625,3	1540,0	71,3	159,5	127,5	
		50		1198,0	747,3	62,3	158,3	105,0	
		100		766,6	579,5	38,3	155,1	67,5	
Düşük (Karaman)	0,233	0		1246,0	747,3	63,8	158,5	108,8	
		50		1013,3	836,7	54,0	157,2	78,8	
		100		517,2	687,0	24,0	153,2	37,5	
Yüksek (Düzce)	1,342	0		GW	4430,9	107366,1	2141,3	570,5	3063,8
		50			2111,1	5678,4	193,2	181,8	382,2
		100			693,4	1882,7	84,8	161,3	161,3
Orta (Zonguldak)	0,528	0	627,2		1596,9	72,8	159,7	131,3	
		50	931,9		659,4	54,0	157,2	101,3	
		100	733,0		532,7	30,8	154,1	48,8	
Düşük (Karaman)	0,233	0	605,7		1427,8	65,3	158,7	112,5	
		50	895,6		705,3	48,0	156,4	75,0	
		100	482,4		687,0	18,0	152,4	22,5	

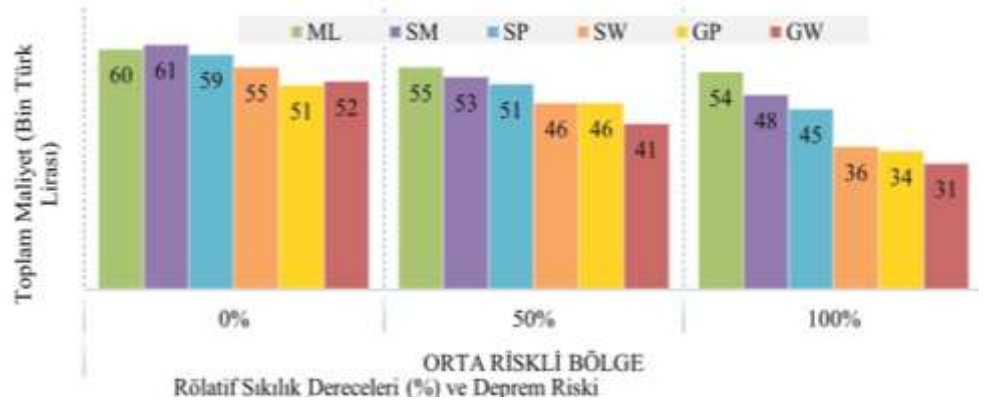
Tablo 5. Analiz sonucunda belirlenen kuyu temel ebatlarına göre metrajlar (2)

Düşük riskli deprem bölgelerinde, kuyu temel maliyetlerinin zemin sınıfına göre değişimi incelendiğinde, tüm zemin sınıfları için, zeminin sıklık durumunun artıyor olmasının maliyeti azalttığı görülmektedir. En düşük maliyetler GW sınıfı zemin tipinde yaklaşık olarak 27 bin ₺ iken, aynı sıklıktaki en yüksek maliyet 40 bin ₺ ile ML sınıfı zeminde görülmektedir. Maliyet sıralaması en pahalıdan ucuz olacak şekilde, ML, SM, SP, SW, GP ve GW şeklindedir. Aynı zeminlerin sıklık dereceleri azaldığında maliyetler en pahalıdan ucuz olacak şekilde SP, GP, SM, ML, SW ve GW olarak değişmektedir. Sıklık oranının en gevşek olduğu durumda ise yapım maliyetleri, GP sınıfında 47 bin diğer tüm zemin tipleri için 48 olarak aynı seviyede görülmektedir. Deprem riskinin düşük olduğu bölgelerde, zemin sınıfı ve sıklık derecesine göre maliyetlerde ortalama %77'lik bir değişim görülmektedir.



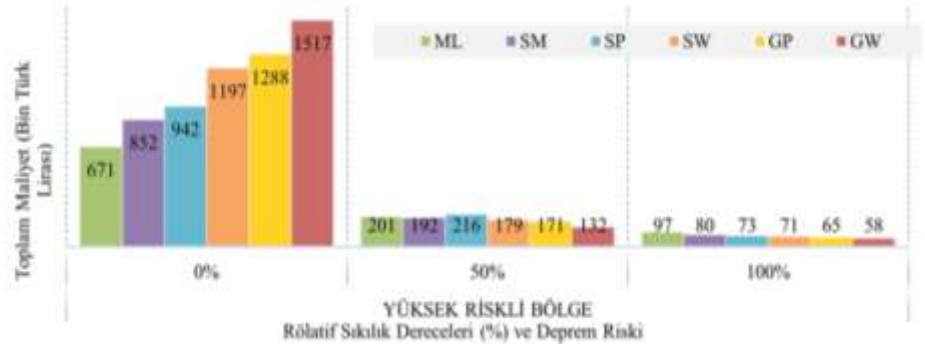
Şekil 2. Düşük riskli deprem bölgelerinde, farklı sınıflardaki zeminlerin farklı sıklıklarda olma durumlarına göre kuyu temel maliyetlerinin değişimi

Orta riskli deprem bölgelerinde, düşük riskli bölgede hesaplanan maliyetlerin üzerinde sayılara ulaşılmaktadır. Örneğin düşük riskli bölgede 27 bin ₺ olan GW sınıfı zeminlerdeki maliyet %15'lik artışla 31 bin ₺ ye yükselmektedir. Zeminin sıkı olması durumunda düşük riskli bölgedeki zemin sınıfı sıralaması değişmemektedir. Sıklık durumu %50'ye düştüğünde ve düşük riskli bölge ile kıyaslandığında, maliyete göre zemin sınıfı sıralaması ML, SM, SP, SW, GP ve GW olarak değişmektedir. Zeminlerin en gevşek hallerinde olması durumunda da sıralama değişmekte ve maliyet sıralaması SM, ML, SP, SW, GW ve GP olarak görülmektedir.



Şekil 3. Orta riskli deprem bölgelerinde, farklı sınıflardaki zeminlerin farklı sıklıklarda olma durumlarına göre kuyu temel maliyetlerinin değişimi.

Deprem riskinin düşük olduğu bölgelerde, zemin sınıfı ve sıklık derecesine göre maliyetlerde ortalama %93'lük bir değişim görülmektedir. Deprem riskinin yüksek olması durumunda ise maliyetlerde, zemin sıklık durumuna göre %216 oranında maliyet farkı oluşmaktadır. Sıklığın %100 olduğu GW tipi zeminde 58 bin ₺ olan maliyet, en gevşek durumdaki aynı zemin sınıfında (GW) 1517 ₺ olarak hesaplanmıştır. Diğer zemin sınıflarında da benzer oranlar söz konusudur.



Şekil 4. Yüksek riskli deprem bölgelerinde, farklı sınıflardaki zeminlerin farklı sıklıklarda olma durumlarına göre kuyu temel maliyetlerinin değişimi.

#### 4. SONUÇLAR

Bu makalede, çalışma alanındaki zemin sınıfı ve deprem riski etmenleri dikkate alınarak kuyu temel maliyet analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde, İstCAD 2021 yazılım programı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esasları ve Çevre Şehircilik Bakanlığı 2021 birim fiyatları kullanılmıştır.

Elde edilen verilere göre; zemin açısından değerlendirme yapıldığında, zeminlerin içsel sürtünme açılarının kuyu temellerin ebatlarını dolayısıyla maliyetleri etkilediği görülmektedir. Öyle ki, içsel sürtünme açısı düşük zeminlerin bulunduğu depremsellik yüksek alanlarda, kuyu temel ebatları gerçekçilikten uzak boyutlara ulaşmaktadır. Öte yandan, rölatif sıklık derecesinin de maliyetleri etkileyen en önemli geoteknik özelliklerden bir olduğu görülmüştür. Nitekim, aynı deprem bölgesinde en düşük maliyeti %100 sıklıktaki GW sınıfı zemin verirken, en yüksek maliyeti aynı zeminin (GW) %0 sıklıktaki durumu vermektedir.

Deprem bölgesi açısından bakıldığında; maliyetleri doğrudan etkileyen etmenin TBDY (2018)'e göre hesabı yapılan tasarım spektral ivme katsayıları olduğu görülmüştür. Kuyu temel kayma ve devrilme tahkiklerinde ana unsur kuyu temele etkileyen aktif ve pasif itkiler olduğundan, içsel sürtünme açısı arttıkça kuyu temele etkileyen aktif itki azalırken buna karşın pasif itki artmaktadır. Bu değişkenlik spektral ivme katsayı yüksek olan yerlerde (deprem olasılığı yüksek bölgeler) çok daha belirgin olmaktadır. Dolayısıyla kayma ve devrilme tahkiklerine göre güvenli olacak şekilde boyutlandırılan kuyu temellerin ebatları da bu değişkenlikten etkilenmektedir.

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kuyu temel yapılacak bölgedeki alan üzerinde geoteknik inceleme yapılmadan, temel tasarımı yapmak hem emniyet açısından hem maliyet açısından olumsuzdur. Bölgenin deprem riski ve zeminin geoteknik özellikleri maliyetleri çok büyük oranlarda değiştirmektedir.

#### KAYNAKLAR

Arslan, Ö., Keskin, İ. & Ateş, A. (2018). İnşaatı tamamlanmış binaların ekomiklik ve güvenlik durumları göz önünde bulundurularak farklı temel türleri ile yeniden çözümünün karşılaştırmalı analizi. *2ND International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management, May*, 572–581.

Bayram, S., Ocal, M. E., Laptali Oral, E. & Atis, C. D. (2016). Comparison of Unit Price Method and Unit Area Cost Method for Construction Cost Estimation. *Journal of Polytechnic-Politeknik Dergisi*, 19(2), 175–183.

Canpolat, F. A. (2019). Kentsel Değişimin Coğrafi Boyutları: Elazığ Örneği. *Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 70–105. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/farabi/issue/44180/517456>

Çinicioglu, S. F. (2005). Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. *İMO İstanbul Seminer*, 1–25.

Eriş, E. & Say-Özer, Y. (2021). The Role of Architectural Competitions in Achieving Urban Transformation In Berlin. *Journal of Design, Architecture and Engineering (FBU-DAE)*, 1(1), 21–41.

Girgin, S. C., Mısır, S. & Kahraman, S. (2008). *Yapı-ZemEtkileşiminin YapısalTasarımdaki Rolü*. 27–37.

Herrmann, H. & Bucksch, H. (2014). Soil Mechanics and Foundation Engineering. In *Dictionary Geotechnical Engineering/Wörterbuch GeoTechnik*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6\\_195271](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41714-6_195271)

Holtz, R., Kovacs, W. & Sheahan, T. (2015). *Geoteknik Mühendisliğine Giriş*.

Özaydın, E. & Baz, İ. (2021). Yeşil Bina Konseptinin Kentsel Dönüşüm Uygulamalarında Ele Alınması. *Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(2), 203–216.