

Isparta İli Anadolu Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanının Jeoteknik İncelenmesi¹

Onur Tuncel²

Mehmet Özçelik³

Özet

Yapılaşma alanlarında meydana gelebilecek deprem gibi bir doğal afetin oluşturacağı etkileri önceden tahmin edebilmek ve oluşabilecek zararları en aza indirebilmek veya ortadan kaldırmak, o bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerini iyi tanımlamaktan ve iyi değerlendirmekten geçmektedir. Bu da yapılaşma öncesinde, gerekli zemin araştırmaları yapılarak, zeminin mühendislik özelliklerinin yanı sıra dinamik, yerel ve çevresel etkilerin, olası tehlike ve risklerinin analiz edilmesiyle sağlanabilir. Ayrıca bu özelliklerin bilinmesi ile yeni yerleşim alanları için imar planlarının oluşturulup yanlış arazi kullanımı önlenir. Isparta ili Anadolu Mah. yerleşim alanının I. Derece deprem bölgesinde yer alması, yapılması planlanan kentsel dönüşüm çalışmasında; zeminin gevşek alüvyonlardan oluşması, sismik etkilerin sebep olduğu taşıma gücü ve oturma problemleri ile karşılaşılmasına neden olacağı öngörülmektedir. Bu sebeple Anadolu Mahallesi çalışma alanındaki zeminlerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, inceleme alanında 10 adet jeoteknik amaçlı sondajlar yapılarak, standart penetrasyon deneyi darbe sayısı ile zeminlerin kıvamı ve sıklığı belirlenmiştir. Bu veriler ışığında Anadolu Mahallesi yerleşim alanındaki zeminlerin dinamik ve statik taşıma gücü ve oturma hesabı yapılarak yerleşime uygunluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre inceleme alanın orta sıkı ve gevşek birimlerden oluşmasının, taşıma gücü ve oturma kriterlerinin sismik etki durumunda aşılabacağına varılmıştır. Bu çalışma, kentte uygulanacak imar planlarının jeoteknik olarak önemli bir altlığını da oluşturmaktadır.

- 1 Bu çalışma 'Isparta İli Anadolu Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanının Jeoteknik İncelenmesi' başlıklı yüksek lisans tezi verileri esas alınarak hazırlanmıştır.
- 2 SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, onur-tuncel@hotmail.com, 0000-0003-4697-7549
- 3 SDÜ, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ozcelikmehmet@sdu.edu.tr, 0000-0003-4511-1946

1. Giriş

Kentsel dönüşüm, genellikle bir şehirdeki eski ve riskli yapıların, çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik prensipleri doğrultusunda güvenli, modern ve çağdaş yapılarla değiştirilmesini ifade eden bir kavramdır. Bu süreç, şehirleşme sürecindeki sorunları çözmeyi, yaşanabilirlik koşullarını artırmayı ve afet risklerini azaltmayı amaçlar. Kentsel dönüşüm ile ilgili temel bilgiler aşağıdaki şekilde verilebilir;

Riskli Yapılar: Kentsel dönüşüm genellikle deprem, sel, yangın gibi doğal afetlere karşı risk oluşturan eski ve güvensiz yapıların yenilenmesini içerir. Bu yapılar hem sakinleri hem de çevresindeki toplumu tehdit edebilir.

Çevresel ve Sosyal Değişim: Kentsel dönüşüm sadece fiziksel yapıları değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal koşulları da iyileştirmeyi amaçlar. Yeşil alanlar, yaya dostu alanlar, toplu taşıma sistemleri gibi çevresel düzenlemelerle birlikte, sosyal hizmetlerin artırılması, yerel ekonominin canlandırılması gibi faktörler de dikkate alınır.

Ekonomik Gelişim: Kentsel dönüşüm, genellikle bir bölgenin ekonomik potansiyelini artırmayı hedefler. Yenilenmiş alanlar, ticaret, turizm ve diğer ekonomik faaliyetler için daha uygun hale getirilebilir, bu da bölgesel kalkınmayı destekler. Şehir Planlaması: Kentsel dönüşüm, daha etkili ve sürdürülebilir bir şehir planlaması sağlamayı amaçlar. Planlı ve düzenli bir şehirleşme, kaynakları daha verimli kullanmayı, trafik sorunlarını azaltmayı ve genel yaşam kalitesini artırmayı hedefler.

Afet Risklerini Azaltma: Özellikle deprem bölgelerinde, eski ve dayanıksız yapıların yenilenmesiyle afet risklerinin azaltılması amaçlanır. Bu, can güvenliğini artırmayı ve afet sonrası toparlanmayı kolaylaştırmayı hedefler.

Mevcut Kaynakları Etkin Kullanma: Kentsel dönüşüm, mevcut kentsel alanların ve altyapının daha etkili bir şekilde kullanılmasını amaçlar. Bu, su ve enerji tasarrufu gibi kaynakları daha sürdürülebilir bir şekilde yönetmeyi hedefler.

Kentsel dönüşüm, şehirlerin sürdürülebilirlik, güvenlik ve yaşanabilirlik açısından gelişimini sağlamak amacıyla uygulanan bir stratejidir. Ancak uygulama süreçlerinde yerel halkın katılımı, sosyal adalet, mülkiyet hakları gibi konular dikkate alınmalıdır, çünkü bu süreçlerde toplumun etkileşimi önemlidir.

Son dönemlerde kentsel dönüşüm planları, ülkemizin jeolojik yapısı, doğal afetler, hızlı ve plansız kentleşme, eski imar alanlarının ömrünü

tamamlaması gibi faktörlerle birlikte geniş bir değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Bu durum, kentsel alanların değiştirilmesi ve yeniden yapılandırılma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Kentsel dönüşüm projelerinde genellikle mimarlar ve şehir planlamacıları tarafından tasarımlar yapılırken, en etkili uygulamaların gerçekleştirildiği ülkelerde jeoteknik çalışmaların da planlama süreçlerine büyük katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Isparta ili Anadolu Mahallesi'nde planlanan kentsel dönüşüm projesi için zeminin taşıma kapasitesi ve oturma açısından dinamik ve statik durumda incelenmesini amaçlamaktadır. Çalışma alanının eski ve temelsiz yapılarıyla karakterize olması nedeniyle Isparta Belediyesi ve Valiliği tarafından öncelikli kentsel dönüşüm bölgesi olarak belirlenmiştir. Zemin profilindeki birimlerin mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi, bu birimlerin potansiyel dinamik ve statik taşıma kapasitesi eksikliği ve oturma gibi jeolojik risklerinin ortaya konulması, olası mühendislik sorunlarına çözüm odaklı çalışma yöntemlerinin belirlenmesi ve bu şekilde dönüşüm sürecinin daha güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir. Jeoteknik açıdan yapılacak bu analizler, kentsel dönüşüm sürecinin başarısında önemli bir rol oynayacaktır. Yapılaşma alanlarında olası deprem gibi doğal afetlerin etkilerini önceden tahmin edebilmek ve bu afetlerin neden olabileceği olumsuzlukları minimize etmek, söz konusu alanların jeolojik ve tektonik özelliklerinin kapsamlı bir şekilde tanımlanması ve değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu, yapılaşma sürecinden önce, zeminin parametrelerine ek olarak dinamik, yerel ve çevresel afetlerin, potansiyel tehlikelerin ve risklerin teşkil edilmesi için gerekli olan zemin araştırmalarının yapılmasını içerir. Ek olarak, yeni yerleşim bölgeleri üzerine etkili imar planlarının oluşturulmasına ve hatalı arazi kullanımının önlenmesine olanak tanır.

Isparta ili Anadolu Mahallesi'nin 1. Derece deprem bölgesinde konumlanması ve planlanan kentsel dönüşüm çalışmasının bölgenin gevşek alüvyon zeminlerinden oluşması nedeniyle, sismik etkilerin yol açabileceği taşıma kapasitesi ve oturma sorunlarına yönelik öngörüler bulunmaktadır. Bu nedenle, Anadolu Mahallesi'ndeki zeminlerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri detaylı bir şekilde incelenecektir. Alan üzerinde gerçekleştirilecek 18 adet jeoteknik sondaj, SPT deneyinden, zeminlerin kıvam ile sıklığını belirleme amacını taşımaktadır. Temsil edici zemin örnekleri alınacak ve laboratuvar ortamında bu örneklerin jeoteknik özellikleri detaylı bir şekilde analiz edilecektir. Elde edilen tüm verilere dayanarak, bölgedeki zeminler TBDY 2018'e göre sınıflandırılacaktır. Bu veriler ışığında, Anadolu Mahallesi'ndeki zeminlerin dinamik ve statik taşıma gücü ile oturma hesapları yapılarak yerleşim alanının uygunluğu değerlendirilecektir. Bu tez

çalışması, kentte uygulanacak imar planlarının jeoteknik açıdan sağlam bir temelini oluşturmayı amaçlamaktadır.

Yapılacak çalışma ile Isparta ili için oluşturulacak taşıma gücü ve oturma analizleri grafikleri ile yapılması planlanan kentsel dönüşüm alanı için değerlendirmeler yapılacaktır. Ayrıca kullanılan dinamik taşıma gücü yöntemi günümüz literatürüne katkı sağlayacaktır. Ek olarak alüvyon zeminlerin dinamik taşıma gücünün deprem etkisinden ne kadar etkilendiği ve tasarımda dinamik etkilerin de değerlendirilmesinin de gerekliliği tartışılacaktır.

2. Materyal ve Metot

Günümüzde zemin yapıları uygulamalarında sismik etkilerden kaynaklanan taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik herhangi bir kriter veya kılavuz bulunmamaktadır. Bu konuda önemli bir çalışma Richards vd. (1993) tarafından yapılmıştır. Son 10-15 yıldır konuya yönelik yoğunlaşmalar giderek kendini göstermeye başlamıştır. Richards vd. (1990) tarafından ortaya atılan sismik taşıma gücü kaybı hesapları davranış mekanizmasını en iyi anlatan açıklama olduğu için tercih edilmiştir. Richards vd. (1993) statik taşıma gücü katsayılarının sismik durum için emsallerini hesaplamış ve tablolar halinde sunmuşlardır. Taşıma gücündeki azalma hem zemin mukavemetinin sismik etki ile azalmasından hem de depremin yarattığı kayma etkisi ile yapıdan veya herhangi başka bir sürşarjdan temele aktarılan yatay kuvvetlerden kaynaklandığını ifade etmiştir. Tekil temeller, sürekli temeller, radye temeller ve hatta kazık temeller sismik etki ile göçebilir ve bu çoğunlukla sıvılaşmaya atfedilir. Hâlbuki gözlemler bu göçmelerin kısmi doygun ve hatta sert ve sıkı zeminlerde bile oluştuğunu göstermektedir. Bu durumda sıvılaşma açıklaması geçerli ve/veya yeterli değildir. Deprem etkisi ile temel altında oluşan göçme mekanizması değişmektedir. Statik durumda göçme mekanizmasını oluşturan aktif ve pasif kamaları çevreleyen kayma düzlemleri artan ivme ile giderek yataylaşmaktadır. Statik taşıma gücünü hesaplamak için kullanılan aynı Coulomb göçme mekanizmasına (bknz. Şekil 2.1-2.2) dinamik deprem etkileri (yatay ve düşey deprem ivme etkileri) eklenecek deprem durumundaki taşıma gücü faktörleri bulunmaktadır.

Önceki verilere göre, Terzaghi (1943)'e bağlı olarak sürekli temel için statik durumdaki taşıma gücü (q_{uS}) denklem 2.1 ile bulunur.

$$q_{uS} = c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.1)$$

Bu denklemde c = kohezyon, N_c = kohezyon taşıma gücü katsayısı, γ = Birim Hacim Ağırlık (BHA), L = Temel uzunluğu, N_q = yüke bağlı taşıma gücü katsayısı, B = Bina eni ve N_γ = birim hacim ağırlığa bağlı taşıma gücü katsayısı, olarak tanımlanmaktadır.

Deprem ivmelerinin etkisi yukarıdaki limit denge probleminin içine eklenerek sismik taşıma gücü (q_{uE}) formülü Denklem 2.2 olarak elde edilir.

$$q_{uE} = c \cdot N_{cE} + \gamma \cdot L \cdot N_{qE} + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma E} \quad (2.2)$$

Bu denklemde sismik taşıma gücü faktörleri N_{cE} , N_{qE} , $N_{\gamma E}$ sembolleriyle tanımlanmıştır.

İvme değerleri boyutu artış ilişkisine göre sismik göçme mekanizması giderek sığlaşmaktadır. Sonuç zemin temelin altından kayar. Zeminin efektif sürtünme açısı ne kadar küçükse taşıma gücünün sismik azalması o ölçüde hızlıdır. Statik taşıma gücü faktörleri sadece içsel sürtünme açısının (ϕ) bir fonksiyonu olarak tanımlanırken, aşağıda verilen dinamik taşıma gücü faktörleri içsel sürtünme açısı (ϕ), duvar sürtünme açısı (δ), ve yatay ve düşey ivme katsayılarına (k_h , k_v) bağlıdır ve Denklem 2.3, 2.4 ve 2.5'te bulunan formüller ile bulunmaktadır.

$$N_{qE} = K_{pE}/K_{aE} \quad (2.3)$$

$$N_{cE} = (N_{qE} - 1) \cot \phi \quad (2.4)$$

$$N_{\gamma E} = \tan \rho_{aE} ((K_{pE}/K_{aE}) - 1) \quad (2.5)$$

Bu denklemlerde; ρ_{aE} kama açısı, K_{aE} ve K_{pE} dinamik etkiler altında kamalar için geçerli olan aktif ve pasif yanal toprak basıncı katsayılarıdır ve Tschebotarioff (1951)'e göre Denklem 2.6, 2.7 ve 2.8'e göre belirlenir.

$$\rho_{aE} = a + \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{(1 + \tan^2 a) [1 + \tan(\delta + \theta) \cot a]} - \tan a}{1 + \tan(\delta + \theta)(\tan a + \cot a)} \right) \quad (2.6)$$

$$K_{aE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos \theta \cos(\delta + \theta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}} \right)^2} \quad (2.7)$$

$$K_{pE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos \theta \cos(\delta + \theta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\cos(\delta + \theta)}}\right)^2} \quad (2.8)$$

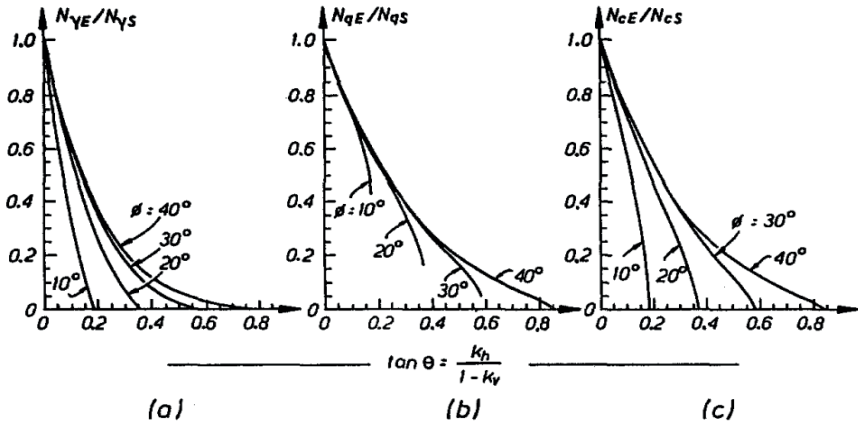
Burada $\theta = \tan^{-1}k_h/(1-k_v)$ ve $a = \phi - \theta$ olarak tanımlanmaktadır. $\delta = \phi/2$ olarak alınmaktadır. k_h ve k_v sırasıyla temel hizasında oluşan yatay ve düşey deprem ivme katsayılarıdır. TBDY 2018' e göre $k_h=0.2SDS$ ve $k_v=\pm 0.5k_h$ sırası ile yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısıdır. Deprem yüklerinin ilave edilmesi ile temel altındaki aktif ve pasif kamaların geometrisi Şekil 2.4'de görüldüğü şekilde değişmektedir. Deprem ivmesinin artışı ile aktif itki katsayısı artmakta (K_{AE}) ve pasif itki katsayısı (K_{PE}) ise azalmaktadır. Deprem ivmesinin kritik bir seviyesinde ise genel akışkanlaşma durumuna ulaşılarak $K_{\alpha E} = K_{\pi E}$ ve $\rho_{\alpha E} = \rho_{\pi E} = 0$ değerlerine ulaşılmaktadır. Bu durumda zemin temelin altından kaymaktadır. Bir depremde taşıma kapasitesindeki aşırı azalmayı daha iyi göstermek için sismik taşıma kapasitesi faktörlerinin statik taşıma kapasitesi faktörlerine oranları Çizelge 4.10'da gösterilmektedir. $k_h = 0.25$ gibi ortalama bir ivme seviyesinde ve yükte sismik bir artış olmadığında bile, sıkı kum üzerindeki yüzeysel temelleri statik taşıma kapasitesinin yalnızca üçte birini korur ve statik güvenlik faktörü 3,0 olacak şekilde tasarlanırsa oturmaya başlamaktadır. Sıvılaşmaya karşı önlem almak sismik taşıma kapasitesi sorunlarını önlemeye garantisini vermemektedir. Büyük depremlerde, sıkı kum üzerinde bile tüm temellerde bir miktar oturma meydana gelecektir. Etkili sürtünme açısı daha düşük olan zeminlerde taşıma kapasitesinin sismik deformasyonu daha hızlıdır ve genel kırılma çok daha erken gerçekleşir. Örneğin; $\phi = \sim 10$ için taşıma kapasitesi $k_h = 0.176$ 'da tamamen ortadan kalkar ve güçlü, uzun süreli bir depremle sonuçlanacak büyük oturmalar kolaylıkla yanlışlıkla sıvılaşmaya atfedilebilir.

Çizelge 2.1. İşsel sürtünme açısı 30 olan zeminin çeşitli deprem ivmelerine göre dinamik ve statik taşıma gücü katsayıları

TABLE 2. Seismic Bearing Capacity Factors and Ratios to Static Values for $\phi = 30^\circ$

Acceleration Intensity $\tan \theta = \frac{k_h}{1 - k_v}$ (1)	Seismic Bearing-Capacity Factors			Ratios of Seismic to Static Bearing-Capacity Factors		
	N_{qE} (2)	$N_{\gamma E}$ (3)	N_{cE} (4)	N_{qE}/N_{qS} (5)	$N_{\gamma E}/N_{\gamma S}$ (6)	N_{cE}/N_{cS} (7)
0	16.51	23.76	26.86	1.00	1.00	1.00
0.807	12.86	15.34	20.55	0.78	0.65	0.77
0.176	9.84	9.45	15.31	0.60	0.40	0.57
0.268	7.30	5.36	10.91	0.44	0.23	0.41
0.364	5.12	2.61	7.14	0.31	0.11	0.27
0.466	3.21	0.88	3.83	0.19	0.04	0.14
0.577	1.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00

Ayrıca Şekil 2.4'te tüm içsel sürtünme açısı ve $\tan\theta$ değerleri için dinamik/statik taşıma gücü katsayıları oranları yer almaktadır.



Şekil 2.4. Sismik ve Statik Taşıma Kapasitesi Oranları

Oturma analizi statik ve dinamik olarak iki şekilde gerçekleştirilmiştir.

Statik oturma analizi

İnceleme alanında statik oturma tahkiki Meyerhof, Terzaghi-Peck tarafından verilen formüller esas alındığında Denklem 2.9 ile hesaplanmıştır.

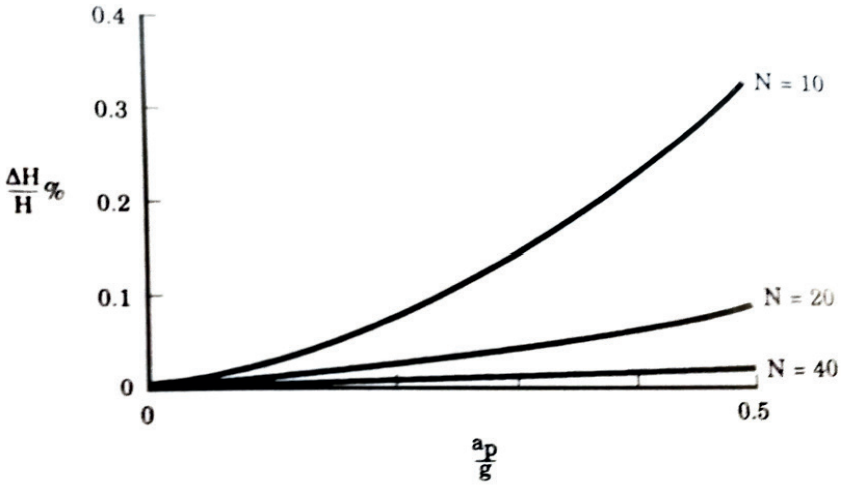
$$\Delta H = 31,2 (q_{\text{net}} / N) \quad (2.9)$$

Burada q_{net} = bina (kolon) yükü olup, bina toplam yükünün birim alana tekabül eden miktarıdır, Proje alanı için (Z+6 kat) 1,5 kg/cm² değeri kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. SPT (N60)30 değerleri kullanılmıştır.

Dinamik oturma analizi

Dinamik oturma hesapları ise Krinitzsky vd. (1993) tarafından önerilen aşağıdaki grafikten elde edilmiştir. Bu şekilde deprem kökenli hacimsel birim deformasyonu (yüzde olarak ifade edilen $\Delta H/H_1$) hesaplamak için standart penetrasyon deneyi N ile pik yer ivmesi (a_p) kullanılmaktadır. Şekil 2.5' de hacimsel sıkışmaya neden olan üç ana faktörün ikisi hesaba katılmaktadır. Bunlar, standart penetrasyon deneyinden elde edilen zeminin gevşekliği ve pik yer ivmesinden (a_{max}) bulunan kayma deformasyonu miktarıdır. Şekil 2.5'teki eğrilerin düzeltilmemiş N değerleri cinsinden olduğuna dikkat edilmelidir. Pratik bir yaklaşım olması bakımından, eğer eğriler standart penetrasyon deneyi (N₁)₆₀ değeri cinsinden olmalıdır. Çünkü (N₁)₆₀ değeri zeminin sıklık durumunu daha iyi temsil etmektedir. Örneğin, düzeltilmemiş aynı

N değerine sahip iki kum tabakası göz önünde bulundurulduğunda, yüzeye yakın kum tabakası, daha derinde bulunan kum tabakasından çok daha sıkı durumda olacaktır. Şekil 2.5'deki grafiği kullanmak için, kumun (N1)60 değeri ve pik yer ivmesi a_p 'nin ikisinin de bilinmesi gerekir. Sonra, grafiğe a_p/g değeri ile girilip arzu edilen (N1)60 eğrisinin kesiştirilmek suretiyle hacimsel birim deformasyon (yüzde olarak ifade edilen $\Delta H/H$) bulunur. Daha sonra, ondalık olarak ifade edilen hacimsel birim deformasyon zemin tabakasının kalınlığı H ile çarpılarak hacimsel sıkışma (yani oturma) elde edilmektedir.



Şekil 2.5. Kuru kumdaki oturmaya tahminde kullanılan diyagram (Krivitzsky vd., 1993)

2.1. Zemin Parametreleri

Çalışma alanı ile ilgili çalışmalar, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında, MTA (1987) tarafından hazırlanmış 1/25.000 ölçekli ve 1/100.000 MTA (2008) İnceleme alanı ve çevresini kapsayan bölgenin jeolojisi esas alınmış, inceleme alanında yüzeylenen litolojik birimlerin dağılımları, yapısal ve tektonik özelliklerini açıklamak amacıyla jeoloji haritası hazırlanmıştır. Jeolojik haritalama sırasında, yol yarmaları, temel kazıları, doğal mostralara ve sondaj kuyularından yararlanılmıştır.

2.1.1. Sondaj Çalışmaları

İnceleme alanında yapılan kareajlama ile arazi şartlarına bağlı olarak yaklaşık her hücreye 1 adet olmak üzere toplam derinliği 200 m olan 10

adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularının derinlikleri 20 metredir. Sondajlar sırasında uygun seviyelerde Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılarak zeminlerin penetrasyon direnci belirlenmiş ve gerekli SPT numunesi alınmıştır. Bu sondajlara ait koordinatlar ve derinliğe göre litolojik birimler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. İnceleme alanında yapılan sondajlara ait kotlar ve diğer veriler

Sondaj lokasyonlarına ait koordinatlar (ITRF96-30)						
No:	Sondaj No:	Y	X	Derinlik	Litoloji	Formasyon
1	SK-84	549114.603	4183489.552	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
2	SK-85	548865.816	4183870.422	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,5-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
3	SK-89	548239.258	4184100.106	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
4	SK-90	548149.390	4183720.796	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
5	SK-232	548346.316	4183408.371	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
6	SK-238	548868.843	4182979.715	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
7	SK-303	548469.220	4182709.954	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
8	SK-304	548707.214	4182349.422	0-0,50	Bitkisel Toprak	-
				0,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
9	SK-308	549435.191	4182321.811	0-2,50	Yapay Dolgu	-
				2,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)
10	SK-343	548854.323	4182088.027	0-2,50	Yapay Dolgu	-
				2,50-20	Çakıllı, Killi, Sitli Kum	Alüvyon (Qal)

2.1.2. Jeofizik Çalışmalar

İnceleme alanında enine dalga (S) ve boyuna dalga (P) hızlarının ölçülmesi ve dinamik zemin parametreleri, yer hâkim titreşim periyotları, yer sismik büyütmelemleri, deprem yönetmeliklerine esas zemin sınıfları belirlenmesi amacıyla),10 adet sismik ve 10 adet MASW-Kırılma etüdü yapılmıştır. Sismik kırılma çalışmaları sonucunda P ve S dalga hızları derinliğin değişkeni olarak belirlenmişlerdir. Elastik parametreler, P ve S dalga hızları ve yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanmışlardır. Vs Dalga Hızı: Partiküllerin titreşim doğrultusu, dalganın tabaka içinde yayılım doğrultusuna diktir. S dalgaları sadece katı ortamda yayılırlar. Deprem anında yıkıcı özelliği olan dalgalardır. Yayılma hızları düşüktür (3-4 km/s) ve hızı P dalgası hızının % 60'ı ile % 70'i arasında değişir. S dalgaları sıvı içinde yayılamazlar. Bu sebeple de manto içine giremez ve deprem merkezinden 103° uzaklıkta bulunan yerlere kadar kaydedilirler. Yapılarda yıkıma yol açan dalgalar S dalgaları ile yüzey dalgalarıdır. S dalgaları yeraltının mekanik özelliklerini ortaya koyarlar.

2.1.3. Laboratuvar Çalışmaları

Sondaj çalışmalarından alınan örselenmiş (SPT) numuneler şartnameye uygun olarak Zemin ve Kaya Laboratuvarı'na sevk edilmiş ve şartnamede belirtilen sayı ve türdeki deneyler yapılmıştır (bkz. Çizelge 2.3). Tüm deneylerde TS-1900 standardı uygulanıp, Çizelge 2.4'de görüldüğü üzere örnekler birleştirilmiş zemin sınıflamasına (USCS) göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.3. Yapılan Laboratuvar Deneyleri

Dency Adı	Standart
Elek Analizi	TS EN ISO 17892-4/ TS 1900-1
Atterberg Limitleri	TS EN ISO 17892-4/ TS 1900-1
TBHA	TS EN ISO 17892-2 Şubat 2016
Su içeriği	TS EN ISO 17892-1
Direk kesme deneyi	TS 1900-2

Çizelge 2.4. İnceleme alanında yapılan sondajlara ait laboratuvar verileri

Sondaj No	Derinlik (m)	USCS	W (%)	Bha	#10 kalan (%)	#200 geçen (%)	C (t/m ²)	Ø
SK-84	3-3,45	siSa	3,17	1,85	9,37	29,84	0,977	19,2
SK-85	3-3,45	SM	10,2	1,77	7,1	27,80	0,497	17
SK-89	3-3,45	siSa	5,18	1,81	4,58	8,65	0,217	22
SK-90	3-3,45	SM	5,48	1,80	29,40	6,60	0,106	22,1
SK-232	3-3,45	siSa	5,81	1,84	8	26,72	0,742	20,1
SK-238	3-3,45	GM	9,6	2,04	50	36,5	0,625	21
SK-303	3-3,45	SM	6,9	1,87	20	41,90	0,817	20
SK-304	4,5-4,95	SM	14,9	1,82	37,90	25,20	0,732	21
SK-308	3-3,45	SM	2,35	1,79	7,05	4,78	0,014	21,9
SK-343	3-3,45	siSa	8,57	1,81	16,58	8,53	0,174	22

2.2. Statik ve Dinamik Taşıma Gücü Hesabı

Taşıma gücü hesapları için tip proje bazlı çalışma gerçekleştirilmiştir. Bina temeli üzerinde inşaattan kaynaklanan sabit yüklerin yanı sıra insan, demirbaş, malzeme ve gidip gelen insanların meydana getirdiği hareketli yükler gelecektir. Bina betonarme ve karkas yapılı olacaktır.

İnceleme alanı; Bakanlar Kurulunun 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı kararı ile yürürlüğe giren Türkiye Deprem düzeyleri DD-2 bölgesinde yer almaktadır. Yapılacak yapıda 18.03.2018 tarih ve 30364 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan, 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe girecek “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” esaslarına uyularak tüm deprem önlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

İnceleme alanına yapılması planlanan yapı yüklerinin, üstteki bitkisel toprak tamamen kaldırılarak, alttaki alüvyon birim (yer yer az killi sitli kum-kumlu-çakıl) üzerine oturtulması planlanmaktadır. Bu birimin zemin sınıfı ise ZD olarak belirlenmiştir. Aşağıda tip proje için veriler Çizelge 2.5’te verilmektedir.

Çizelge 2.5. Yapılması planlanan yapıya ait bilgiler

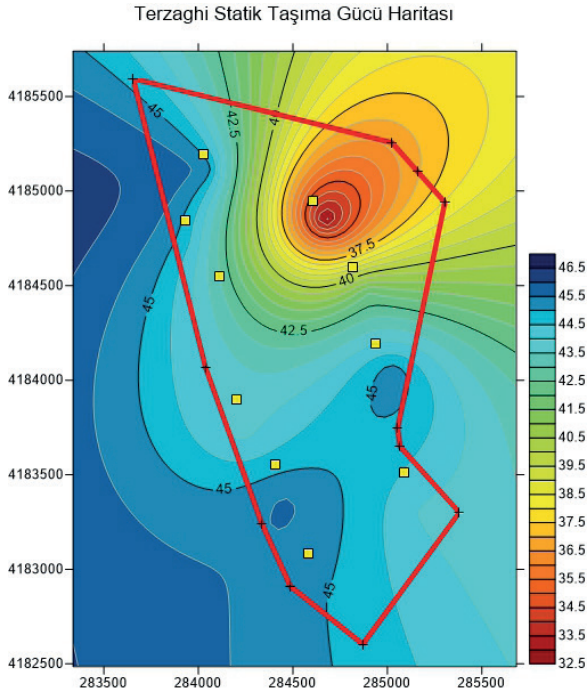
Kat Adedi	B (m)	L (m)	Df (m)	Wt (t)	q_{\max}^0 (t/m ²)
Z+6	20	30	3	9000	20

Bu çizelgede, B = binanın kısa kenarını, L = Binanın uzun kenarını, Df = temel kazısı derinliğini, Wt = Yapı yükünü ve q_{\max}^0 = temelde oluşan maksimum gerilmeyi temsil etmektedir.

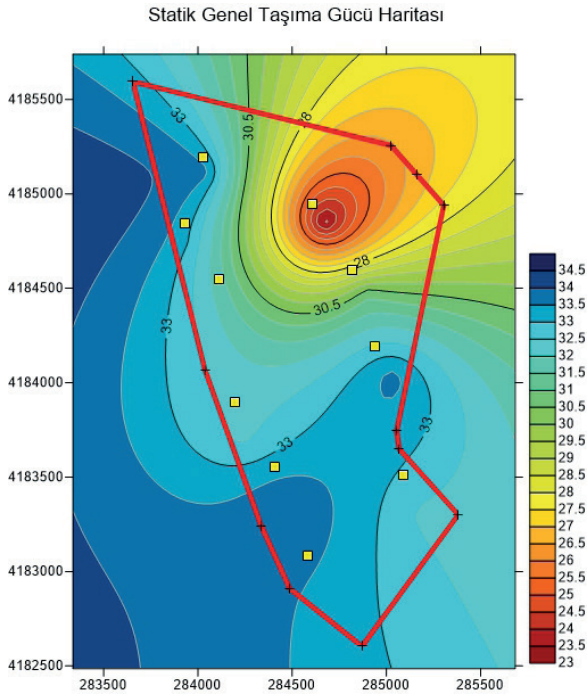
Çizelge 2.6. Dinamik ve statik durum için taşıma gücü hesapları

Sondaj no	USCS	BHA	C (t/m ²)	Ø	Statik Terzaghi taşıma gücü (t/m ²)	Statik genel taşıma gücü (t/m ²)	Dinamik Terzaghi taşıma gücü (t/m ²)	Dinamik genel taşıma gücü (t/m ²)
SK-84	siSa	1,85	0,977	19,2	41,886	30,816	16,112	16,563
SK-85	SM	1,77	0,497	17	32,762	23,271	13,164	13,200
SK-89	siSa	1,81	0,217	22	45,334	33,621	15,919	17,444
SK-90	SM	1,80	0,106	22,1	44,676	33,036	15,567	171,60
SK-232	siSa	1,84	0,742	20,1	43,057	31,774	16,098	16,868
SK-238	GM	2,04	0,625	21	45,311	33,650	16,544	17,618
SK-303	SM	1,87	0,817	20	43,839	32,356	16,467	17,198
SK-304	SM	1,82	0,732	21	45,602	34,014	16,729	17,750
SK-308	SM	1,79	0,014	21,9	43,92	32,415	15,388	16,895
SK-343	siSa	1,81	0,74	22	45,043	33,348	15,780	17,324

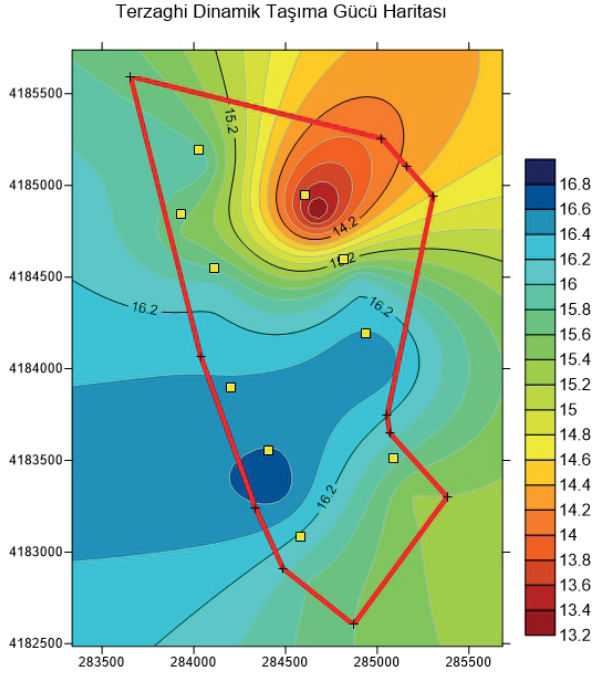
Taşıma gücü hesaplarına göre $q_{\max}^0 = 20$ t/m² ve Statik durumda hem Terzaghi Taşıma güçleri hem de Genel Taşıma gücü hesapları yeterlidir. Ancak Dinamik durumdaki taşıma güçlerine göre kıyas yapıldığında tüm serilerde zemin taşıma gücünün yetersiz kalacağı görülmektedir. TBDY 2018' e göre statik projeden alınan depremlili ve depremsiz durumlardaki q_{\max}^0 değerinin statik durumdaki taşıma gücü ile kıyasının yetersiz olduğu gözlemlenmiştir.



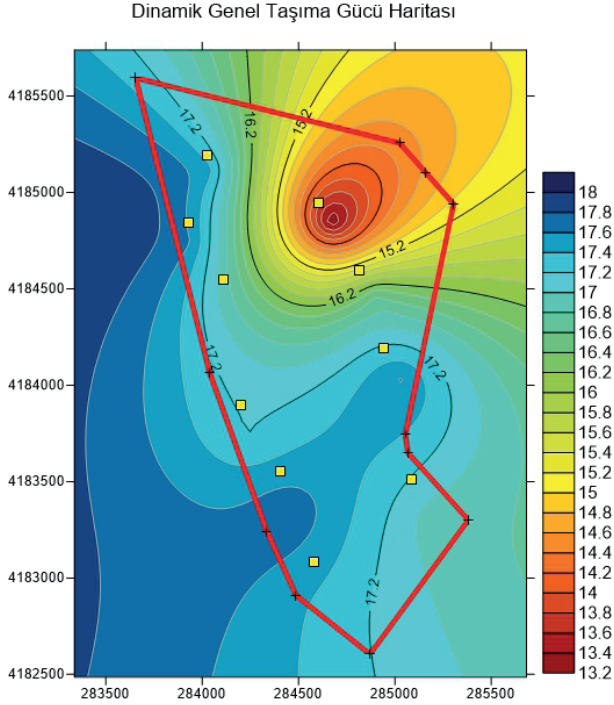
Şekil 2.6. İnceleme alanının statik durum için Terzaghi taşıma gücü haritası



Şekil 2.7. İnceleme alanının statik durum için Genel taşıma gücü haritası



Şekil 2.8. İnceleme alanının dinamik durum için Terzaghi taşıma gücü haritası



Şekil 2.9. İnceleme alanının dinamik durum için Genel taşıma gücü haritası

Yapılan haritalandırma sonuçlarına göre, Isparta da Karaağaç mahallesinden Deregümü Mahallesine doğru zeminin taşıma güçlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu düşüşün zeminin orta sıkı çakıl- siltli kum-kum birimlerden gevşek pomza-siltli kum birimlere dönüşmesinin sebep olduğu açıktır.

Çalışma alanının alüvyon birimlerden oluşması, orta sıkı ve gevşek zemin yapısı, sismik taşıma gücünü oldukça düşürmüştür. Özellikle binanın etki deriliği içerisindeki ilk 20 metrenin gevşek olması, sismik olarak yapıları tehlikeye sokmaktadır.

Çalışma alanında yerinde kentsel dönüşüm için zemin iyileştirme tekniklerinin uygulanması doğru çözüm olacaktır. Ayrıca, analiz sonuçları, yerinde kentsel dönüşüm alanlarının özellikler deprenselliğinin araştırılması ve tasarımların bun göre yapılması gerektiğini göstermiştir.

2.3. Statik ve Dinamik Oturma hesabı

Oturma hesapları statik ve dinamik olmak üzere iki şekilde hesaplanmıştır. Statik durum için $1,50 \text{ kg/cm}^2$ lik bir net yük, ilgili kuyuya ait $(N_{60})_{30}$ değerleri ve etkili derinliğe kadarki tabaka kalınlığı $(1.5xB)$ olan $H=30$ metre alınmıştır. Ancak Spt sayıları üzeri için oturma hesabı yapılmadığı için $SPT=50$ 'ye kadarki derinlik için oturma hesabı yapılmıştır. Dinamik Oturma miktarı hesaplar $\Delta H/H$ miktarı Krinitzsky vd. (1993) tarafından önerilen tablodan alınmıştır. Aşağıda SK-84 için hesap tablosu verilmiştir. Tüm kuyular için hesaplar Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.7. SK-84'e ait statik durum için oturma hesapları

SPT Kuyusu	SK-84	SK-85	SK-89	SK-90	SK-232	SK-238	SK-303	SK-304	SK-308	SK-343
$(N_{60})_{30}$	33,12	26,37	25,88	34,50	34,97	26,26	32,47	17,68	24,51	28,37
ΔH (cm)	1,41	1,77	1,81	1,36	1,34	1,78	1,44	2,65	1,91	1,65

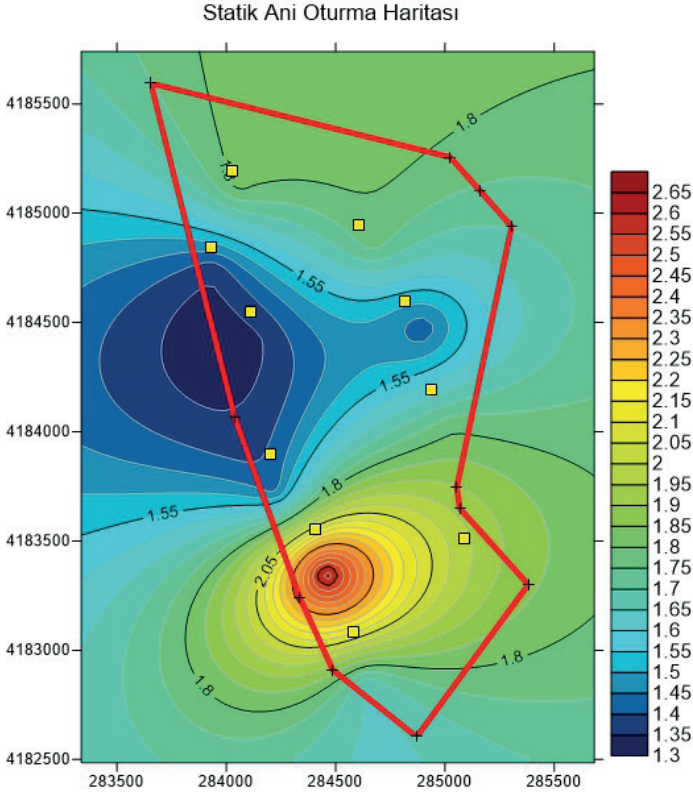
Çizelge 2.8. Dinamik durumlar için oturma hesapları

SPT Kuyusu	SK-84	SK-85	SK-89	SK-90	SK-232	SK-238	SK-303	SK-304	SK-308	SK-343
$(N_{60})_{30}$	33,12	26,37	25,88	34,50	34,97	26,26	32,47	17,68	24,51	28,37
$\Delta H/H$	0,04	0,07	0,07	0,04	0,04	0,075	0,04	0,15	0,07	0,06
H (m)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
ΔH (cm)	1,2	2,1	2,1	1,2	1,2	2,25	1,2	4,5	2,1	1,8

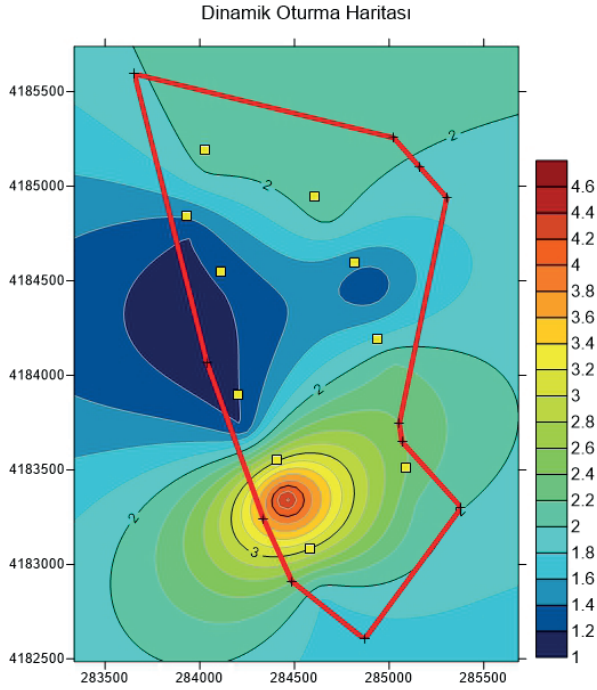
Çizelge 2.9. Statik, dinamik ve toplam oturmalar

SPT Kuyusu	SK-84	SK-85	SK-89	SK-90	SK-232	SK-238	SK-303	SK-304	SK-308	SK-343
$(N_{60})_{30}$	33,12	26,37	25,88	34,50	34,97	26,26	32,47	17,68	24,51	28,37
Statik Oturma (cm)	1,41	1,77	1,81	1,36	1,34	1,78	1,44	2,65	1,91	1,65
Dinamik Oturma (cm)	1,2	2,1	2,1	1,2	1,2	2,25	1,2	4,5	2,1	1,8
Toplam Oturma (cm)	2,61	3,87	3,91	2,56	2,54	4,03	2,64	7,15	4,01	3,45

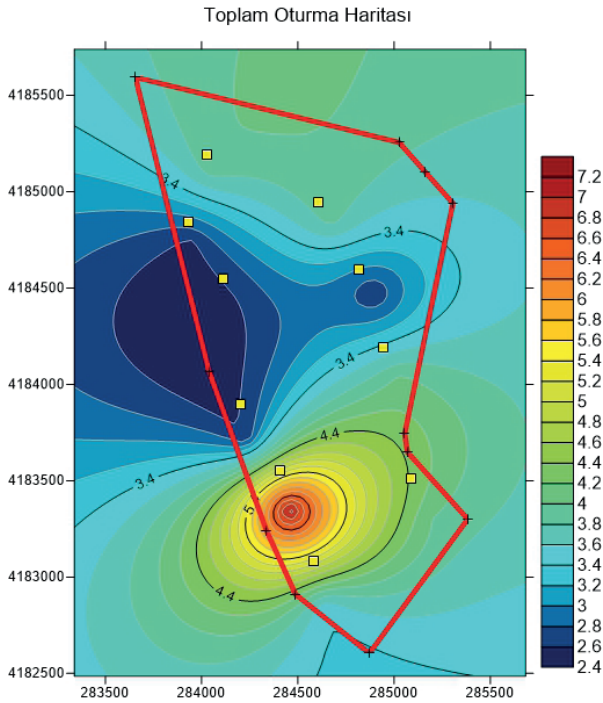
Oturma hesap sonuçlarına göre Spt $(N_{60})_{30}$ verilerinin 20'li seviyelere inmesi statik ve dinamik oturmanın için riskli seviyelerin başladığını göstermektedir.



Şekil 2.10. İnceleme alanının statik durum için oturma haritası



Şekil 2.11. İnceleme alanının dinamik durum için oturma haritası



Şekil 2.12. İnceleme alanının toplam oturma haritası

Temellerin sismik oturmalarnın nedeni taşıma kapasitesinin azalması gibi görünmektedir. Geçmişte bu durum, 12 Haziran 1978'de Japonya'nın Sendai kentinin kuzeydoğusundaki 7.8 büyüklüğündeki Miyagihen-Oki depreminde meydana gelmiştir; burada birçok petrol depolama tankının temelleri, taşıma kapasitesi yetersizliğinden ve aşırı oturmalardan zarar görmüştür (Okamoto 1978). Bir başka durumda ABD'deki bir Petrol depolama tanklarının zemininin, tankların inşasından önce titreşimle sıkıştırılmış 65 m kalınlığında ince kumdan oluşmaktadır. Ancak Amerika Birleşik Devletleri'nde, San Fernando depremi sırasında Jensen Filtrasyon Tesisindeki oturma, sıkıştırılmış bir malzemenin yaşadığı büyük sismik oturmanın (yaklaşık 100 mm) göstermiştir (Whitman ve Bielak 1980). Yapılan analiz sonuçlarında, çalışma alanı içinde sismik durumda oturmalarnın 2,4 ile 7,5 cm arasında olacağı gözlemlenmiştir. Özellikle granüler zeminler için maksimum oturma sınırının (6,5 cm) aşılmaktadır. Isparta Ovasının, zemininin genel olarak 100 metreden fazla alüvyon zeminden oluşması hem küçük hem de özellikle büyük yapılar için sismik oturma riski oluşturacağı öngörülmektedir. Bu durumun oluşmasındaki en büyük pay oldukça derin alüvyon tabakasının varlığı sebep olmaktadır.

3. Sonuçlar

Granüler zeminlerdeki yüzeysel temellerin sismik oturmalarna ilişkin, zeminin yoğunluk veya sıvılaşmadaki değişikliklere bağlı olmayan saha ve laboratuvar gözlemleri, taşıma kapasitesinin sismik azalması olarak açıklanmaktadır. Temel kapasitesindeki azalma hem zemin mukavemetinin sismik bozulmasından hem de yapı boyunca temele kesme yoluyla iletilen yanal atalet kuvvetlerinden ve herhangi bir sürşarjdan kaynaklanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda Yüzeysel temeller için Terzaghi ve Genel Taşıma gücü için statik ve dinamik durum için hesabı yapılmıştır. Araştırma sonuçlarında Statik durumda taşıma kapasitesinin her iki yöntemde yeterli olduğu ancak dinamik durumda her iki yöntemde de yetersiz taşıma gücü söz konusu olduğu gözlemlenmiştir.

Sismik etki durumunda taşıma gücünde meydana gelen kayıplar, orta sıkı zeminlerde yerel kırılmalara sebep olacaktır. Bu durumda oluşacak oturmalar yapıya zarar verme ve kullanılamaz hale getirme potansiyeli göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda yüzeysel temeller için statik ve dinamik durum için oturma hesabı yapılmıştır. Araştırma sonucunda, statik durumda oturmalarnın üst limiti aşmadığı, ancak dinamik durumda SPT (N60)30 değerinin 20'in altına düştüğünde dinamik oturmanın oturma kriterini karşılamayacağı öngörülmüştür.

Elde edilen sonuçlar haritalandırılarak inceleme alanında yerel bir çalışma yürütülmüştür. Bunun sonucunda çalışma alanında yapılacak yapılar için deprem durumundaki taşıma güçlerine göre tasarım yapılması gerektiği saptanmıştır.

TBDY 2018 Yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabı ve değerlendirmesi, Statik proje kapsamında temel altında oluşan statik ve deprem gerilmelerine karşı yapılmaktadır. Ancak bu çalışma bunun yetersiz olduğunu, doğru değerlendirmenin ancak deprem durumundaki taşıma gücünün, deprem durumundaki temel altı gerilmeleri ile kıyasının doğru olacağını göstermiştir.

Bu çalışma kentsel dönüşüm alanlarının, yeniden imarı konusunda depreme göre tasarımın gerekliliğini göstermiştir. Ayrıca mevcut yapıların da taşıma gücü ve oturma kriterleri bakımından risk altında olabileceklerini göstermiştir.

Kentsel dönüşüm planlamasının, tüm mühendislik hesaplamalarına ek olarak jeoteknik açıdan incelenmesinin hayati bir etken olduğu bu çalışma ile bir kez daha tespit edilmiştir.

Kaynakça

- Choudhury, D., & Subba Rao, K. S. (2006). Seismic bearing capacity of shallow strip footings embedded in slope. *International Journal of Geomechanics*, 6(3), 176-184.
- Ghosh, P. (2008). Upper bound solutions of bearing capacity of strip footing by pseudo-dynamic approach. *Acta Geotechnica*, 3, 115-123.
- Johari, A., Hosseini, S. M., & Keshavarz, A. (2017). Reliability analysis of seismic bearing capacity of strip footing by stochastic slip lines method. *Computers and Geotechnics*, 91, 203-217.
- Karamitros, D. K., Bouckovalas, G. D., & Chaloulos, Y. K. (2013). Seismic settlements of shallow foundations on liquefiable soil with a clay crust. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 46, 64-76.
- Keshavarz, A., Beygi, M., & Vali, R. (2019). Undrained seismic bearing capacity of strip footing placed on homogeneous and heterogeneous soil slopes by finite element limit analysis. *Computers and Geotechnics*, 113, 103094.
- Knappett, J. A., Haigh, S. K., & Madabhushi, S. G. (2006). Mechanisms of failure for shallow foundations under earthquake loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(2-4), 91-102.
- Kumar, J., & Mohan Rao, V. B. K. (2002). Seismic bearing capacity factors for spread foundations. *Geotechnique*, 52(2), 79-88.
- Richards, R., Elms, D.G., Budhu, M. (1993). "Seismic bearing capacity and settlements of foundations", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 116, No. 5, pp. 662-674.
- Yang, X. L. (2009). Seismic bearing capacity of a strip footing on rock slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(8), 943-954.
- Okamoto, S. (1978). *Introduction to earthquake engineering*. Univ. of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Whitman, R. V., and Bielak, J. (1980). "Chapter 7: Foundation." *Design of earthquake resistant structures*, Pentech Press, London, England.
- Senel, M. (1984). Discussion on the Antalya nappes. In *Geology of the Taurus belt*. International symposium (pp. 41-51).

