

Araştırma Makalesi / Research Article

Az Katlı Bir Yapıdaki Farklı Oturma Problemine Ait Vaka Analizi

Ömür Çimen¹, Mustafa Türkmen², Alper Urhan³^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Isparta, omurcimen@sdu.edu.tr^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, Isparta, mustafaturkmen@sdu.edu.tr^c Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Isparta, alperurhan@yandex.com

Geliş Tarihi:15.07.2013 ; Kabul Tarihi: 27.12.2014

Özet

Anahtar kelimeler

Zemin Modellemesi;
Farklı Oturma;
Performans Analizi

Bu çalışmada, Burdur ili merkezinde bulunan tripleks bir yapıda meydana gelen farklı oturmalar değerlendirilmiştir. Yapının kullanılabilirliğinin kontrol edilmesi amacıyla Sta4-Cad programıyla modellenip performans analizleri yapılmıştır. Mevcut zemin koşulları Plaxis 2D sonlu eleman programı kullanılarak modellenmiştir. Zeminin kuru, suya doymuş koşulları ve farklı temel sistemleri için oturma analizleri yapılmıştır. Farklı oturmaya maruz kalmış yapının tekrar kullanılabilmesi için farklı iyileştirme metodları karşılaştırılmış ve zemine uygun tasarımın önemi vurgulanmıştır.

A Case Study of Different Settlement Problem on Low Rise Building

Abstract

Key words

Soil Modeling;
Different Settlement;
Performance Analysis.

Different settlement conditions occurred in a triplex engineering-structure which was built in Burdur city is evaluated in this study. Performance analyses are made to check the structure-usage by Sta4-Cad program. Existing soil conditions are modeled using Plaxis 2D which is a finite element program. Settlement analyses are also made for dry - saturated conditions of soil, and different foundation systems. Hence, different improvement methods are compared to re-use of structure which is exposed to different settlement and importance of appropriate design respect to soil is emphasized.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Temeller, destekledikleri yapının izin verdiği sınırlar ölçüsünde hareket edecek şekilde tasarlanırlar. Bu sebeple, yapıların izin verilebilir hareket sınırlarını ve bu değerleri etkileyen faktörleri belirlemek ve temel tasarımını bu bilgiler ışığında yapmak özellikle performansla dayalı tasarımda büyük önem kazanmaktadır.

Temel hareketlerinin yapılar üzerindeki etkilerini belirlemek için, teorik olarak yapısal analiz prensiplerinden ya da inşa edilmiş yapıların incelenmesinden elde edilen bilgilerden

yararlanılabilir. Fakat mesnet deformasyonlarının modellendiği yapısal analiz çalışmaları genel olarak gereğinden oldukça fazla güvenli hareket sınır değerleri ile sonuçlanmaktadır. Bunun başlıca sebebi olarak özellikle kapı ve pencereler gibi taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının, izin verilebilir hareketler için belirleyici önem taşımalarına rağmen, gerçeğe yakın şekilde modellenmelerinin zorluğu gösterilebilir. Bu nedenle, kullanımda olan farklı oturma sınır değerlerinin çok büyük bir kısmı yapılarda gözlemlenen farklı oturmalar ile hasarların ilişkilendirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bazı durumların üst yapıda hasar oluşturabilecek farklı oturmalara sebep olacağı anlaşılmıştır. Bu durumlar; plan ve düşey doğrultudaki sıkışma özelliklerinin değişmesi, aynı zemin tabakasında tabaka kalınlığının değişmesi, oturmaların meydana geldiği zemin derinliği içinde sert veya yumuşak bölgelerin bulunması, gerilmelerin bir biri üzerine binmesi ve temel büyüklüklerinin, derinliklerinin ve taban basınçlarının farklı olması gibi sıralanabilir. (Uzuner, 1985).

Mühendislik yapılarına zarar veren oturmaların azaltılması için bazı önlemlerin alınması gerekir. Oturma hasarlarının önlenmesi bakımından

Tablo 1. İzin Verilebilir Oturma Miktarları (Uzuner, 1995)

	Zemin Cinsi	Tekil-Şerit Temeller	Radye Temeller
Dönme	Hepsi	1/300	1/300
Maks. Farklı Oturma	Kil	4 cm	4 cm
	Kum	2,5 cm	2,5 cm
Maks. Mutlak Oturma	Kil	6,5 cm	6,5 - 10 cm
	Kum	4 cm	4 - 6,5 cm

uygulanacak zemin iyileştirme yöntemi belirlenmeden önce söz konusu yapı için temel zemininin konsolidasyonundan dolayı meydana gelecek oturma miktarları ve oturma farklarının bilinmesi gereklidir.

Genel olarak hiperstatik taşıyıcı sistemler oturmalara karşı çok hassastırlar. Bu yapıların temellerinde meydana gelen oturma farkları ne kadar fazla olursa ortaya çıkan ilave gerilme değerleri de o ölçüde büyük olur. Tablo 1’de izin verilebilir oturma miktarları, Tablo 2’de ise farklı oturma miktarları görülmektedir.

Tablo 2. Müsaade Edilebilir Farklı Oturma Miktarları (Erol, 1993)

Temel Tipi	Özellikler		Müsaade edilen Farklı Oturma (mm)
Klasik Sığ Temel	Tekil, Sürekli temel		<13
	Kiriş Yüksekliği (cm)	Kiriş Aralığı (m)	
Hafif takviyeli Radye	40-50	6,0-4,5	13-25
Orta Takviyeli Radye	50-60	4,5-3,6	26-50
Ağır Takviyeli Radye	60-100	3,6-3,0	51-100
Kalın Radye	30 cm den daha kalın		Limitsiz
Ayaklı Temel	Bağ kirişli 30 cm çaplı		Limitsiz

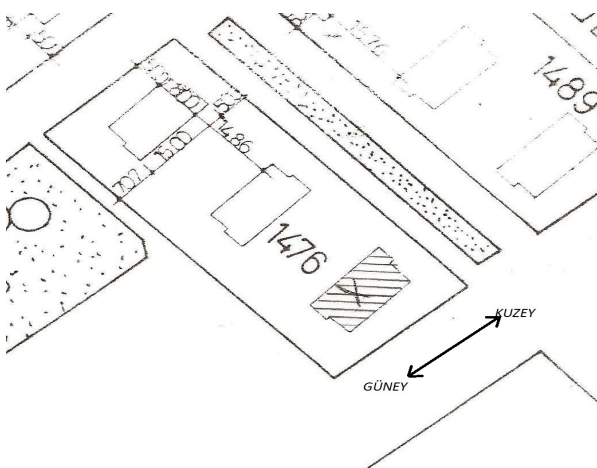
Bir yapının tasarlanmasında taşıma gücü ve oturma kriterleri göz önüne alınır. Üçüncü bir kriter ise ekonomiklikdir. Yapılan tasarım bu üç kriteri de sağlamalıdır. Kany (1967), yapı tasarımında oturma miktarlarının belirli sınırlar içinde kalmasının bir zorunluluk olduğunu ve alınacak kararlarda ekonomik kısıtlamaların ilk planda ele alınmaması gerektiğini belirtmiştir. Çamlıbel (1983), yapıda bir yük artımı söz konusu olduğunda, bu ilâve yüke karşılık gelen

oturmaların yaklaşık olarak belirlenebileceğini, çatlak oluşumunda en önemli nedenin farklı oturmalar olduğunu ve oturmaların %50-75’inin farklı oturma olduğunu göstermiştir.

Swinborne ve Holand (1980), oturmaların, mevsimsel ve coğrafik özelliklere bağlı olarak değişim gösterdiğinden, farklı ülkeler için uzun süreli gözlemlerden yararlanılarak gerekli özelliklerin saptanmasının gerektiğini

belirtmişlerdir. Erol (1993), mevsimlere bağlı olarak nem-su değişiminin şişme-büzülmeye neden olduğunu ve bu etkilerin temel kenarlarında yoğunlaştığını göstermiştir. Shahin ve ark. (2002); Zhang ve ark. (2011) temellerin oturma tahminlerinin yapılmasında yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Tahmin ettikleri oturma değerlerini karşılaştırarak yapay sinir ağları kullanarak hazırlanan model sonuçlarının gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Enkhtur ve ark. (2013), yüzeysel temellerin oturmasının nümerik analizlerle hesaplanmasını ele aldığı çalışmada üç farklı nümerik analiz kullanarak oturma hesapları yapmıştır. Basıncın, gerilme dağılımı profilinin, oturmayı etkileyen faktörlerin ve sonlu eleman tabakası kalınlığının çözümlerde oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir. Zhu ve ark. (2012); D’Orazio ve Duncan (1987) aşırı ve farklı oturmanın meydana geldiği arazi uygulamalarına yer vermişler, bunların engellenebilmesi için farklı tasarım uygulamalarını göstermişlerdir.

Zemin elastoplastik, homojen olmayan ve anizotrop bir malzemedir. Plaxis (statik, dinamik gerilme analiz ve modelleme programı) zemin için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Avcı ve Tuncan (2008), Subaşı vd.(2012), Çetin ve ark. (2012), Adatepe ve ark. (2012), Güllü (2012) zeminin modellenmesinde Plaxis programını kullanmışlardır. Bu çalışmada ise yapının modelenmesinde Sta4-Cad, zeminin



Şekil 1. Vaziyet Planı

Binanın bulunduğu parsel üzerinde, 09.03.2011

modellenmesinde Plaxis 2D sonlu eleman programları kullanılmıştır.

Bu çalışmada Burdur merkez de bulunan tripleks bir yapıda meydana gelen farklı oturmalar değerlendirilmiştir. Mevcut zemin profili Plaxis ile modellenerek yapıdan beklenen oturmalar belirlenmiştir. Buna göre oturmaların binanın şu anda inşa edilmiş temel sistemi ile zaten beklediği ve bu durumun gerek inşaat öncesi uygun temel tasarımı ile önlenebileceği yapılan çalışma ile öne çıkarılmıştır. Farklı oturmaların gözlemlendiği şimdiki durum ile oturmaların oluşmaması için uygulanmış yöntemlerin analiz sonuçları karşılaştırılmış ve zemine uygun temel tasarımının önemi vurgulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Burdur Merkez’de bulunan tripleks (üç katlı) bir yapıda farklı oturmaya bağlı ortaya çıkan yapısal sorunların giderilerek, yapının kullanılabilir duruma getirilebilmesi için yapılabilecek çalışmalar değerlendirilmiştir. Mevcut zemin ve temel koşulları değerlendirilerek inşaat başlamadan önce yapılması gereken temel tasarımı ele alınarak, binada ortaya çıkan oturma probleminin engellenebilmesi için yapılması gereken işlemler için maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. İncelenen binanın vaziyet planı Şekil 1’de, görünüşü ise Resim 1’de verilmiştir.



Resim 1. İncelenen Binanın Ön Cepheden Görünüşü

tarihinde yapılan "Zemin Etüd Raporu" nda;

binanın oturma yapan Güney-Batı köşesinde yapılan SK-1 sondajında yüzeyden 5,0 metre civarında bir ıslaklığın, diğer sondajlarda 2,5 metrelere kadar bir ıslaklığın saptandığı, SK-1 sondajından 4-4,5 metre civarında numunenin daha kumlu çıkmasının, burada bir su akıntısının olmasını muhtemel kıldığı, bununla birlikte; zemin grubunun C, yerel zemin sınıfının Z4, zemin yatak katsayısının $K_s=1430 \text{ t/m}^3$, zemin hakim titreşim periyodunun (T_o) = 0,57 sn. olarak hesaplandığı, etkin yer ivmesi katsayısının $A_o=0.40$, spektrum karakteristik periyotlarının $T_A=0,20$ ve $T_B=0.90$ sn. olarak alınabileceği belirtilmiştir. Bu raporda 1. tabakanın dinamik zemin oturması $S_d=1,41$ cm. hesaplanmış, buradan zemin taşıma gücü $q_u=K_s \times S_d=1430 \times 0,0141= 20,163 \text{ t/m}^2$ olarak verilmiş ve sürekli temel sistemi önerilmiştir (Zemin Etüt Raporu, 2011).

2.1. Zemin Profillerinin Tanımlanması

İnceleme alanı temel kaya birimi Üst Miyosen Pilyosen yaşlı Burdur Formasyonu olarak adlanan birimden ve üst kısmında köken olarak Burdur Formasyonuna bağlı Kuvarterner Alüvyonel birimden oluşmaktadır. İnşaat temel tabanı üst kısımdaki tanımlanan alüvyonal birime oturmuştur. Birimin temel kalınlığı bölgede yapılan derin sondajlarda 105 metreden daha fazla olduğu anlaşılmıştır (Zemin Etüt Raporu, 2011).

Bu çalışma için binanın iki köşesinde temel seviyesine kadar kazılarak muayene çukurları açılmıştır. Muayene çukurları 3-4 m. derinliğindedir. Muayene çukurlarında iki farklı noktada dinamik sonda deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde 37.5 mm çapındaki konik uçlu 1m uzunluğundaki tijin, 20 kg ağırlığındaki tokmağın 50cm yükseklikten düşürülmesi ile

zemine batması sağlanmıştır. Bu tijin her 10cm'lik kısmının zemine batması için gerekli olan darbe sayıları belirlenmiştir. Her deney noktası için belirlenen darbe sayılarının tabakalara göre ortalaması alınmıştır. Birinci noktada 7m 'ye kadar, ikinci noktada 10m'ye kadar ilerleme sağlanmıştır. Her iki noktada da tijlerde ıslaklık olduğu görülmüştür. Yüzeyden itibaren 4 m'ye kadar ortalama darbe sayısı $N= 3$, 4m-7m arası $N=5$ ve 7m-10m arası $N=6$ olarak belirlenmiştir. Alınan örselenmemiş numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri, birim hacim ağırlık deneyleri, kıvam limitleri ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Yapılan sınıflandırma deneylerine göre Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zeminin düşük plastisiteli kil (CL) sınıfında olduğu tespit edilmiştir. 3 m 'den alınan zeminin doğal birim hacim ağırlığı $1,75 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. 3 m' den alınan numune üzerinde yapılan serbest basınç deneylerinde numunenin drenajsız kayma mukavemeti 8 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Muayene çukurlarında arazi penetrometre ve arazi Veyn deneyleri yapılmıştır. Bu derinlikteki arazi penetrometre ile belirlenen serbest basınç mukavemeti ortalama $2,25 \text{ kg/cm}^2$, arazi Veyn deneyinden elde edilen kayma mukavemeti ise $2,6 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Temelin oturduğu kısımdan alınan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinden numunelere ait boşluk oranı, hacimsel sıkışma katsayısı değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Konsolidasyon deney sonuçlarına göre boşluk oranı (e) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) değerleri

Basınç, P (kg/cm ²)	Basınç Kade. ΔP , (kg/cm ²)	Numune 1		Numune 2	
		Boşluk Oranı, e	m_v (cm ² /kg)	Boşluk Oranı, e	m_v (cm ² /kg)
0		1,01	0	1,04	0
0,25	0-0,25	0,931	0,161	0,905	0,272
0,5	0,5-0,25	0,904	0,057	0,875	0,063
1	0,5-1,0	0,872	0,034	0,841	0,037
2	1,0-2,0	0,828	0,024	0,794	0,025
4	2,0-4,0	0,773	0,015	0,737	0,016
2	4,0-2,0	0,777	-	0,741	-
1	2,0-1,0	0,780	-	0,747	-
0,5	1,0-0,5	0,784	-	0,751	-
0,25	0,5-0,25	0,788	-	0,758	-

3. BULGULAR

Burdur Belediyesi imar alanı içinde yukarıda tanımlanan zemin profili üzerinde bulunan bina; bodrum, zemin ve teras çatı katı olmak üzere tripleks (üç katlı) olarak projelendirilmiştir. Binanın statik-betonarme hesapları “2007 Deprem Yönetmeliği” esaslarına göre yapılmıştır. Mimari ve betonarme projeleri Aralık-2007 ‘de Burdur Belediyesi İmar Müdürlüğü’nce onaylanarak yapı ruhsatı verilmiştir. İç-dış sıvaları tamamlanmış, doğramaları takılmış ve ön bahçe duvarı yapılmıştır. Bina 15metre x 8 metre boyutlarına sahip olup temel derinliği 2 metredir. Kat yüksekliği 2.80 m. dir. Taşıyıcı sistemi; plak döşeme, kolon-kirişli çerçeve ve mütemadi temellerden oluşmaktadır.

Bina taşıyıcı sistemini olumsuz yönde etkileyebilecek ve yapısal sorunlara neden olabilecek mertebede ve türden imalat ve işçilik hatalarına rastlanmamıştır. Binada, zemin sıkışmasına bağlı farklı oturma ve temel dönmesinden (rotasyonlu oturma) dolayı güney-batı istikametinde düşey şakulinden kaçma meydana gelmiştir. Yapılan ölçümde; iki kenar arasında 26 cm. kot farkının olduğu görülmüştür. Bu da $\alpha=0.26/15.00=0.0173$ açısız dönme karşılık gelmektedir. Kat yükseklikleri 2.80 m. dir. Bu dönmeyle ilgili olarak kolonlarının alt ve üst uçları arasındaki yaklaşık 5 cm’ lik bir ekzantrite (eksenden kaçma) olduğu gözlenmiştir.

Yapılan incelemede; bina taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların (temel-kolon-kiriş-döşeme) kesit boyutları ve donatı düzenlerinin betonarme uygulama projesinde belirtilen ölçü ve sayıya uygun olarak yapıldığı, binada taşıyıcı sistem elemanlarında, temelde oluşan açısız dönmeyle ilgili, yapısal sorunlara neden olabilecek türden herhangi bir çatlak vs. gibi olumsuzluklara rastlanmamıştır.

3.1. Mevcut Taşıyıcı Sistemin Değerlendirilmesi

Bina taşıyıcı sistemini oluşturan elemanlarının boyutları aynı alınarak, kesit ve donatılarının yeterli olup olmadığının kontrolü amacıyla, yürürlükte bulunan “2007 Deprem Yönetmeliği” esasları çerçevesinde, Sta4-Cad analiz programı ile binanın statik-betonarme hesapları yeniden yapılmıştır. Hesapta, etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.40$, bina önem katsayısı $I=1$, yapı davranış katsayısı $R=8$, zemin grubunun C, yerel zemin sınıfının Z4, zemin yatak katsayısının $K_S=1430 \text{ t/m}^3$, zemin emniyet gerilmesi $\sigma_{em}=12 \text{ t/m}^2$, spektrum karakteristik periyotlarının $T_A=0,20$ ve $T_B=0.90$ sn, malzeme sınıfı beton için C20(BS20), çelik için BÇIII (S420) değerleri alınmıştır.

Analiz sonucunda; bina taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların (temel-kolon-kiriş-döşeme) donatı alanlarının, uygulama projesi donatı

alanları ile aynı olduğu ve kesitlerinin yeterli geldiği görülmüştür.

Kolonların alt ve üst uçları arasında, binada dönmeli oturmaya bağlı, yaklaşık 5 cm. ekzantrisine oluşmuştur. Bu ekzantrisiteden dolayı bodrum kat kolonlarında oluşabilecek ilave momentler dikkate alınarak, kolon kesitlerinin ve donatılarının yeterli olup olmadığı kontrolü yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, bu durumda da kolon kesit ve donatılarının yeterli geldiği görülmüştür.

3.2. Bina Performans Durumunun Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm bina ve türü yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler "2007 Deprem Yönetmeliği" Bölüm 7. 'de verilmiştir. Yönetmelik; konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisleri ve endüstri yapıları, vb. yapıların performans düzeylerinin "Deprem Aşılma Olasılığı 50 yılda %10 olan deprem etkisinde" asgari "Can Güvenliği Durumu"nu sağlaması istenilmektedir.

Bina taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların (temel-kolon-kiriş-döşeme) kesit boyutları ve boyuna donatı düzenlerinin betonarme uygulama projesinde belirtilen ölçü ve sayıya uygun olarak yapıldığı görülmüştür. Binanın taşıyıcı sisteminin mevcut boyut ve donatıları kullanılarak üst yapı taşıyıcı sisteminin modeli oluşturulmuş ve "2007 Deprem Yönetmeliği" esaslarına göre performans hesabı yapılmıştır. Binanın mimari ve betonarme uygulama projeleri mevcuttur, bu nedenle, bina, "kapsamlı bilgi düzeyi"nde olduğu kabul edilmiştir.

Bölüm 3.1' deki hesapta kullanılan proje parametreleri, performans analizinde de

kullanılmıştır. Yönetmeliğin 7.8 maddesine göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi için yapılan; doğrusal elastik hesap sonucunda binanın performans seviyesinin "Can Güvenliği Durumu"nda, olduğu ve güçlendirilmesine gerek olmadığı sonucuna varılmıştır.

3.3. Temel Altındaki Zeminin Modellenmesi

Zemin elastoplastik, homojen olmayan ve anizotrop bir malzemedir. Bu malzemenin modellenmesi de kendine özgü bir zemin programı ile yapılabilir. Earth Vision (dinamik gerilme analizleri için geliştirilmiş bir program), Feflow (yer altı suyu modelleme için geliştirilen bir program), GMS (yine yer altı suyu analiz ve modelleme programı), Arcgis (statik ve dinamik zemin analiz programı), Lusas (zemin dinamik analiz programı), ve Plaxis (statik, dinamik gerilme analiz ve modelleme programı) gibi programlar zemin için geliştirilmiş sonlu elemanlar programlarıdır. Bu programlar arasında yer alan Plaxis 2D bu çalışmada kullanılmıştır. Modellemede ağın oluşturulması sırasında 15 düğüm noktalı ve 12 gerilme noktasına sahip düğüm noktası sistemi seçilmiştir. Modellemede kullanılan zemin özellikleri yapılan arazi ve laboratuvar deneylerinden alınarak temsili zemin profili olarak Tablo 4 'de verilmiştir.

Modellemede zeminin kuru ve suya doymuş olması durumları, temel sisteminin mütemadi ve radye olduğu durumlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Model sonuçları değerlendirilmiş ve farklı durumlar için temel alt noktasındaki toplam deformasyon, yatay deformasyon, düşey deformasyon, efektif gerilme, toplam gerilme ve boşluk suyu basıncı değerleri belirlenmiştir. Oluşturulan modellemede yapıya yüklenen yükler gerçek hayattaki kolon yüklerini temsilen eş değer yayılı yük olarak yapıya yüklenmiştir. Yapıya gelen yükler Tablo 5' de, elde edilen program çıktılarına ait sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Temsili Zemin profili

0 - 6 metre	Vp=347 m/sn	Düşük Plastisiteli Kil	$\gamma_k = 1,48 \text{ gr/cm}^3$
	Vs=237 m/sn		$E = 1601,5 \text{ kg/cm}^2$
	WL=36		$\mu = 0,065$
	WP=21		$G = 752 \text{ kg/cm}^2$
	PI=%15		$\gamma_n = 1,75 \text{ gr/cm}^3$
	C(kpa)=8		$\gamma_s = 2,72 \text{ gr/cm}^3$
6 – 16 metre	Vp=494m/sn	Düşük Plastisiteli Kil	$\gamma_k = 1,48 \text{ gr/cm}^3$
	Vs=309 m/sn		$E = 3287 \text{ kg/cm}^2$
	WL=%35		$\mu = 0,18$
	WP=%20		$G = 1393,5 \text{ kg/cm}^2$
	PI=%15		$\gamma_n = 1,8 \text{ gr/cm}^3$
	C(kpa)=68		$\gamma_s = 2,72 \text{ gr/cm}^3$

γ_k = Kuru Birim hacim ağırlık, γ_n = Tabii birim hacim ağırlık γ_s =Dane birim hacim ağırlık E=Elastisite modülü, μ =Poisson oranı, G=Kayma modülü, Vp=Boyuna dalga hızı, Vs=Enine dalga hızı

Tablo 5. Bina Kolonlarına Gelen Yükler

Kolon no	S 1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
Yük (ton)	19.381	31.467	21.439	42.162	52.362	41.306	43.485	81.786	35.445	39.861	34.270	16.197	41.353	22.113

Tablo 6. Plaxis-2D Programı Kullanılarak Elde Edilen Model Sonuçları

Parametreler	Sürekli Temel		Radye Temel	
	Zemin Kuru	Zemin Doymun	Zemin Kuru	Zemin Doymun
Toplam Deformasyon (m)	$7,2 \times 10^{-2}$	$17,51 \times 10^{-2}$	$1,38 \times 10^{-2}$	$1,36 \times 10^{-2}$
Yatay Deformasyon (m)	$5,42 \times 10^{-2}$	$13,72 \times 10^{-2}$	$894,29 \times 10^{-6}$	$882,18 \times 10^{-6}$
Düşey Deformasyon (m)	$7,2 \times 10^{-2}$	$17,48 \times 10^{-2}$	$1,37 \times 10^{-2}$	$1,36 \times 10^{-2}$
Maks. Efektif Gerilme (KN/m ²)	347,87	239,02	293,63	221,01
Toplam Gerilme (KN/m ²)	825,41	842,31	301,45	384,73
Maks. Boşluk Suyu Basıncı (KN/m ²)	0	694,94	0	201,2

Modellerden elde edilen sonuçlara göre sürekli temel durumunda zemin kuru durumda iken oturma koşulları sınırlar dahilinde iken, zemin suya doygun olduğunda oturma koşullarının sağlanmadığı görülmektedir. Radye temel durumunda ise her iki zemin koşulunda da oturma kriterleri sağlanmaktadır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada az katlı bir yapıdaki farklı oturma durumu incelenmiş ortaya çıkan problem için farklı mühendislik çözümleri için maliyet analizleri yapılmış ve zemine uygun temel tasarımının önemi değerlendirilmiştir.

Mevcut binanın zemin ve temel koşulları birlikte değerlendirildiğinde ortaya çıkan farklı oturmanın arazi deneylerinden de görüldüğü gibi yüzeysel suyun akıntısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Arazinin eğiminden dolayı yüzey suları oturmanın meydana geldiği yöne doğru ilerlemektedir. Yer altı suyu ise temele etki etmeyecek derinliklerdedir.

Rotasyonlu (dönmeli) oturmaya bağlı olarak binada, $\alpha=0.0173$ açısız dönme meydana gelmiştir. Türk yönetmelik ve standartlarında binalar için güvenilir açısız dönme ile ilgili herhangi bir sınır değeri verilmemiştir. İlgili bina için belirlenen açısız dönme yüksek yapılar ve farklı temel tipi için verilen güvenilir açısız dönme değerlerinden oldukça fazladır. Binada henüz, temel dönmesine bağlı herhangi bir yapısal problemin ortaya çıkmadığı tespit edilmiştir. Binanın az katlı olmasının bunda önemli bir etken olduğu düşünülmektedir.

Binada oluşan açısız dönmeden dolayı; bina kat döşemelerinde yatayda eğimler, duvarlarında ise şakulinden kaçmalar oluşmuş, kapı ve pencere kanatları kilitlenmediği sürece kendiliğinden açılır veya kapanır duruma gelmiştir. Bina taşıyıcı sisteminde herhangi bir çatlak vs. bulunmamasına rağmen, binanın bu hali ile kullanılması bina sahiplerinin psikolojisi üzerinde olumsuz etkileri olacağı bir gerçektir. Bu nedenle, bina duvarlarının tümünün yıkılarak yeniden örülmesi, döşemelerde oluşan eğimlerin tefsiye tabakası ile düzeltilmesi, mevcut mütemadi temellerin ankrajlar yardımıyla kirişli radye temele

dönüştürülmesi bir çözüm önerisi olarak sunulmuştur.

Yukarıda önerilen çözümün 2013 yılı birim fiyatları ile maliyet hesabı yapılmıştır. Kapı ve pencerelerin sökülmesi, duvarlarının yıkılarak yeniden örülmesi, sıvanması, kapı ve pencerelerin takılması, döşemelerde oluşan eğimlerin düzeltilmesi (*tabanda tesviye tabakası, tavanda ise sıva ile*), sürekli temellerin radye temele dönüştürülmesi (*içeriden temel tabanına kadar toprak dolgunun kaldırılması, mütemadi temellere ankrajlama yapılması, temel boşluklarının demirli plakla doldurulması*) işlemleri için metraja dayalı maliyet yaklaşık 42000.- TL olarak hesaplanmıştır.

Şayet bina temeli; proje tasarım aşamasında kirişli veya plak radye olarak planlanmış ve uygulanmış olsaydı, mevcut mütemadi temel maliyeti üzerine yaklaşık 4200.-TL bir ek harcama gerektirecekti. Proje aşamasında temellerin kirişli veya plak radye olarak yapılmasına verilecek 4200 TL 'lik maliyet oturma probleminin ortaya çıkmasını engellemiş olacaktır.

Başka bir alternatif olarak; Jet Grout Kolon imalatı yapılarak, binada ortaya çıkan farklı oturmanın azaltılması planlanmış, gerekli maliyet hazırlanmıştır. Mevcut zemin koşulları değerlendirilerek gerekli hesaplamalar yapılmış, en uygun kazık boyu ve çapı belirlenmiştir. Buna göre 15m boyunda 60 cm çapında 44 adet jet grout kolon imalatı yapılması gerekmektedir. Bina içerisinde bodrum katta çalışılmasına göre yapılacak olan imalatın maliyeti ise 122060.-TL olarak belirlenmiştir. Jet Grout maliyetinin yüksek çıkması nakliye ücretlerinden kaynaklanmaktadır.

Mevcut zeminin ve temelin Plaxis 2D ile modellenmesi sonucuna göre sürekli temel koşullarında elde edilen düşey deformasyon değeri 7.2 cm olarak belirlenmiştir. Tablo 1 de verilen tekil-şerit temellerde izin verilebilir oturma miktarı 6.5 cm olarak görülmektedir. Modelleme sırasında zemin suya doygun olduğunda elde edilen düşey deformasyon değeri 17.48 cm olarak belirlenmiştir. Buna göre yapılan zemin modellemesi sonuçları zeminin suyla karşılaşması durumunda temel koşullarının yetersiz kalacağını göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, zemin koşullarına uygun olarak yapılmayan temel tasarımlarının sonucunda ortaya çıkabilecek problemler ve problemlerin çözümlenmesi için gerekli maliyetler ortaya konarak konunun önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

Sta4-Cad programıyla bina modellenerek performans analizi yapılmış, mevcut zemin özellikleri Plaxis 2D programında modellenerek, Sta4-Cad programından elde edilen kolon yükleri Plaxis 2D programında temele uygulanmıştır. Zemin kuru durumda iken oturma problemi ile karşılaşmazken zemin suya doygun olduğunda sürekli temel durumunda oturma kriterinin sağlanmadığı görülmektedir. İnşaat başlamadan önce temel tasarımının radye temel olarak yapılması durumunda ise her iki zemin koşulunda da oturma kriteri sağlanmaktadır.

Binanın az katlı olması nedeniyle, binada meydana gelen açılardan dolayı; henüz, bina taşıyıcı sisteminde, herhangi bir çatlak vs. gibi yapısal sorunların ortaya çıkmadığı görülmüştür. Sta4-Cad programıyla binanın performans analizi yapılmış, Yönetmeliğin 7.8 maddesine göre 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisi için yapılan; hesap sonucunda binanın performans seviyesinin "Can Güvenliği Durumu"nda, olduğu görülmüştür. Böyle olmasına karşın, binanın bu hali ile kullanılması durumunda bina sahiplerinin psikolojisi üzerinde olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için; bina döşeme ve duvarlarında ortaya çıkan eğim ve şakulinden kaçmaların düzeltilmesinin yanında, mütemadi temelinin de radyeye dönüştürülmesi önerilmiştir. Başka bir alternatif öneri olarak; Jet Grout Kolon imalatı yapılarak, binada ortaya çıkan farklı oturmanın azaltılması planlanmıştır. Birinci önerinin uygulama maliyeti yaklaşık 42000.- TL, ikinci önerinin uygulama maliyeti ise 122060.-TL olarak hesaplanmıştır.

Gerçekte; bina temeli, proje aşamasında kirişli veya plak radye temel olarak planlanmış ve uygulanmış olsaydı, yukarıda verilen iyileştirme maliyetlerinin çok altında bir harcama ile binada

ortaya çıkan yapısal sorunların büyük ölçüde önüne geçilmiş olabilirdi. Zemine uygun temel tasarımının önemi bir kez daha arazi sonuçlarıyla görülmüştür.

Tasarım aşamasında uygun bir zemin araştırması ve temel sistemi seçimi yapılmadığında, ortaya çıkabilecek yapısal sorunların giderilmesi için sonradan yapılacak ek harcamaların, zemin araştırma maliyetinin bina maliyetine oranının yaklaşık %0.5 ile %1 arasında olduğu (Yıldırım 2002) da göz önüne alındığında, zemin araştırma maliyetinin çok daha fazla üzerinde olabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Adatepe Ş., Gökalp, A., Düzceer, R., 2012. İstanbul grovaklarında yapılan bir derin kazı uygulamasında değişik iksa sistemlerinin performansı. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi , Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 431-442.
- Avcı G., Tuncan A., 2008. Kazıklı temellere etki eden dinamik yüklerin statik yükler cinsinden uygulanabilirliği. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Çamlıbel, N., 1983. Yüzeysel Yapı Temelleri. Birsan Kitapevi, İstanbul, 308.
- Çetin, Z., Onur, M.İ., Tuncan, M., Tuncan, A., 2012. Derin kazı destek sistemlerinde yanal deformasyonun belirlenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi , Isparta, 403-412.
- D'Orazio, T., Duncan, J., 1987. Differential settlements in steel tanks. *J.Geotech. Engrg.* 113(9), 967-983.
- Enkhtur, O., Nguyen, T.D., Kim, J.M., Kim, S.R. 2013. Evaluation of settlement influence factors of shallow foundation by numerical analyses. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(1), 85-95.
- Erol, O., 1993. Şişen zeminlerde temel tekniği uygulamaları, *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler 1. Teknik Kongre*, Cilt: 1, 346-357.

- Kany, M., 1967. Yüzeysel Temellerin Hesap Metotları. İTÜ Matbaası, 4-121.
- Subaşı E., İkizler, B., Demir, G., Angın, Z., Kayahan, A., 2012. Heyelenlar üzerine bir değerlendirme (Rize İli örneği). Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 337-346.
- Swinborne, J.E., Holand, C.E., 1980. Seasonal heave of Australian clay soil. *Proc. Of 4 th Int. Conf. On Expansive Soils*, 303-320.
- Shahin, M.A., Maier, H.R., Jaksa, M.B., 2002. Predicting settlement of shallow foundations using neural Networks. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 128 (9), 785-793.
- Uzuner, B. A., 1985. Yapılarda oturma ve önemi. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi III. Mühendislik Haftası*, s: 4-26.
- Uzuner, B. A., 1995. Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi, 27-92.
- Yıldırım, S., 2002, Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Zhang, G., Xiang, X., Tang, H., 2011. Time series prediction of chimney foundation settlement by neural Networks. *Int. J. Geomech.* 11(3), 154-158.
- Zhu, M., Gary, T., Bachus, R., 2012. Assessment of a building settlement and the litigation process- a case study. *Forensic Engineering*, 1318-1327.
- Zemin Etüd Raporu*, 2011, Jeotest Mühendislik Madencilik İnşaat Ltd. Şti., Burdur.