

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATATÜRK ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ
OTURMA PROBLEMLERİNİN JEOTEKNİK
DEĞERLENDİRİLMESİ - İZMİR

Ülkem YILMAZ

Ocak, 2007

İZMİR

**ATATÜRK ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ
OTURMA PROBLEMLERİNİN JEOTEKNİK
DEĞERLENDİRİLMESİ - İZMİR**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

Ülkem YILMAZ

**Ocak, 2007
İZMİR**

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

ÜLKEM YILMAZ tarafından PROF. DR. M. YALÇIN KOCA yönetiminde hazırlanan “ATATÜRK ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ OTURMA PROBLEMLERİNİN JEOTEKNİK DEĞERLENDİRİLMESİ - İZMİR” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M.Yalçın KOCA

Yönetici

Prof. Dr. Zafer AKÇIĞ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez konumun seğimi ile tezin başlangıcından sonuna dek her türlü destek ve yardımını gördüğüm Sayın Hocam Prof. Dr. Yalçın KOCA'ya, tezin düzenlenmesinde ve oluşumunda sürekli olarak yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Cem KINCAL'a, konu ile ilgisi nedeniyle önemli desteğini gördüğüm Doç. Dr. H. Recep YILMAZ'a, Ar. Gör. Pelin AKLIK'a ve yüksek lisans yapmamı ısrarla teşvik eden sevgili anneme teşekkürü bir borç bilirim.

ATATÜRK ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİNDEKİ OTURMA PROBLEMLERİNİN JEOTEKNİK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB) alanı İzmir Körfezi nin kuzeyinde, Gediz Deltası alüvyal yelpaze çökelleri üzerinde yer almaktadır. Başlangıçta nehrin deltası değiştirilmiş ve daha sonra alana zemin iyileştirme yöntemleri uygulanarak yer yer 3.0 metreye varan dolgular yapılmıştır. Bu aşamadan sonra, sanayi tesislerinin inşaatları yapılmış ve faaliyete geçen tesisler su gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla çok sayıda sondajlar açarak yeraltından su üretimine başlamıştır. Sanayi için su gereksiniminin sürekli olarak yer altı kaynaklarından sağlanması sonucunda, 2-3 m. civarında IAOSB alanında oturmalar oluşmuştur. Bu oturmaların temel nedeninin, aşırı çekime bağlı olarak piyezometrik su seviyesindeki düşüm sonucu oluşan alansal oturmalar (subsidence) olduğu belirlenmiştir. IAOSB’ de yeni imara açılacak söz konusu alanda, gelecekte su temini için yeraltı suyunun kullanımına devam edilmesi durumunda, gerek yeni imar alanında IAOSB), gerekse alçalan freatik su hattının kıyı kesiminde 1.40 m. derinlikteki yeraltı suyu seviyesini daha da aşağıya düşürmesi kaçınılmazdır. Bu durumda alçalan her 1.0 metre su seviyesi için 1.0 T/ m² yeni bir yük altında, genelde normal konsolide olan zemin tabakaları yeniden sıkışacaktır. IAOSB’ den aktarılan yüklerden ziyade yeraltı su seviyesinin alçalması veya alçaltılması ile asıl sorunlar oluşacağından, günümüzde ara verilen veya vazgeçilen bu riskli su temini yöntemi kesin olarak uygulanmamalıdır.

Yapılan incelemeler ve araştırmalar sonucunda, zemin oturmalarının genelde bina yükleriyle ilgili olmadığı, genelde tüm alanda bir oturma oluştuğu ve bu oturmaların temel nedeninin de piezometrik su düzeyinin 5.0 metreden yaklaşık 55.0 metrelere düşmesi (2001 yılı verilerine göre) nedeniyle kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Oturma, Zemin, Sondaj, Konsolidasyon, Atatürk Sanayi Bölgesi

GEOTECHNICAL ASSESMENT OF THE SETTLEMENT PROBLEMS IN IZMIR ATATURK ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE

ABSTRACT

Izmir Ataturk Organized Zone (IAOIZ) is located at the North of Izmir Bay on the alluvial fan sediments of Gediz Delta. Initially, the delta of the river has been changed, and after that fills, which reach to 3m. hight, have been constructed after the application of ground improvement methods. After this phase, the construction of industrial facilities was completed. The active facilities supplied the water necessity by opening several boreholes. As the water necessity is supplied by the underground water sources, settlements which are about 2-3 m. are observed in IAOIZ persistently, it is inevitable that the ground water level will decrease far beyond the level of -1,40 m. both in the reconstruction and the border line of the decreasing freatic line. In this case, there will be an extra load of 1,0 t/m² per meter of the decreasing water level and the normally consolidated layers will be re-consolidated. As the main problems arise from the decrement of the water level rather than the loads derived from the constructions, the risky over pumping technique must be abandoned.

In the light of the surveys and investigations, it is seen that the settlements are not related with the construction loads, generally, there is settlement in the whole area. The main reason of the settlement is the decrement of the piezometric water level from -5,0 m. to -55.0 (according to 2001 data).

Keywords: Settlement, Soil, Borehole, Consolition, Ataturk Organized Zone

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ÖZ | iv |
| ABSTRACT | v |
| BÖLÜM BİR – GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Amaçlar | 1 |
| 1.2 Çalışma Yöntemleri | 1 |
| 1.3 İnceleme Alanının Tanıtılması..... | 3 |
| BÖLÜM İKİ - ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ..... | 7 |
| 2.1 İzmir ve Çevresinin Alüvyon Morfolojisi..... | 10 |
| 2.2 Eski Gediz Nehri Delta Alüvyonları | 13 |
| 2.3 İzmir İli Yakını Aktif Fay Zonları | 15 |
| BÖLÜM ÜÇ - ZEMİN KESİTİ | 19 |
| 3.1 Genel Zemin Kesiti | 19 |
| 3.2 Taban Kayası Seviyeleri | 20 |
| BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOLJİ | 22 |
| 4.1 Su Durumu | 22 |
| 4.2 Akiferlerin Hidrolik Parametreleri..... | 22 |
| 4.2.1 Serbest Akifer | 22 |
| 4.2.2 Basıncılı Akifer..... | 23 |
| 4.3 Kuyular..... | 25 |
| 4.3.1 Sığ Kuyular | 25 |
| 4.3.2 Derin Kuyular | 25 |
| 4.4 Beslenme Boşaltım Döngüsü | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.1 Serbest Akifer | 26 |
| 4.4.2 Basıncılı Akifer..... | 26 |
| 4.5 Yağış Durumu | 28 |
| BÖLÜM BEŞ - YERİNDE ve LABORATUVAR DENEYLERİ | 31 |
| 5.1 Yerinde Deneyler | 31 |
| 5.1.1 Standart Penetrasyon Deneyleri..... | 31 |
| 5.1.2 Presiyometre Deneyleri | 36 |
| 5.2 Labaratuvar Deneyleri..... | 40 |
| 5.3 İAOSB İdealize Kesitler ve Zemin Parametreleri..... | 44 |
| BÖLÜM ALTI - JEOFİZİK ÇALIŞMALAR..... | 46 |
| BÖLÜM YEDİ - İAOSB'DE GÖZLENEN ALANSAL OTURMALAR | 50 |
| 7.1 Konsolidasyon Teorisi | 50 |
| 7.2 Laboratuvar Konsolidasyon Aletleri | 51 |
| 7.3 Konsolidasyon Deneyinin Yapılışı | 54 |
| 7.4 Killerin Oturmasında Prekonsolidasyon Etkisi..... | 56 |
| 7.5 Sıkışma Katsayısı ve Hacimsel Sıkışma Modülü..... | 58 |
| 7.6 Oturma Analizleri..... | 66 |
| 7.6.1 Deprem Yükleri Nedeniyle Gelişebilecek Oturmalar | 66 |
| 7.6.2 Üst Yapı Yükleri ve Saha Dolguları Nedeniyle Gelişebilecek Oturmalar | 66 |
| 7.6.3. Saha Dolguları | 68 |
| 7.7 İAOSB'de Gözlenen Alansal Oturmaların Değerlendirilmesi..... | 68 |
| 7.7.1 Sorunun Geçmişi ve Gelişimi..... | 68 |
| 7.7.2 Karşılaşılan Oturmaların Nedenleri Nelerdir?..... | 69 |
| 7.8 Konsolidasyon Modelinin Geliştirilmesi | 72 |
| 7.8.1 İdealize Kesit | 72 |
| 7.8.2 Alansal oturmalara Neden Olan Gerilme Artışlarının Hesaplanması..... | 74 |
| 7.9 Nihai Oturma Değerlerinin Hesaplanması..... | 78 |
| 7.9.1 Oturmaların hesaplanmasında Yapılan Kabuller | 78 |
| 7.9.2 Konsolidasyon Oturmalarının Hesaplanması | 79 |

| | |
|---|------------|
| 7.10 Alanal Oturmalar ve Zaman İlişkilerinin Hesaplanması..... | 94 |
| 7.11 Alansal oturmaların Gelişimi ve Alınması Gereken önlemler | 101 |
| 7.11.1 Oturmaların Görüldüğü Alan Genişler mi | 101 |
| 7.11.2 Oturma Süreci Durdurulabilir mi | 102 |
| 7.11.3 Değişik önlemlerin Tartışılması..... | 103 |
| 7.11.4 Yapay Beslenme Modeli | 104 |
| BÖLÜM SEKİZ - TAŞIMA GÜCÜ | 107 |
| 8.1 Taşıma Gücü-Zemin Emliyet gerilmesi | 107 |
| BÖLÜM DOKUZ - OTURMA SORUNUNUN JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ | 110 |
| BÖLÜM ON - SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 117 |
| KAYNAKLAR | 119 |
| EKLER | |
| EK-1 :Atatürk Organize Sanayi Bölgesi Planı | 124 |
| EK-2 :İAOSB İçin Kesit Hatları ve Enine Kesitler | 126 |
| EK-3 :İnceleme Alanında Açılmış Yeraltı Suyu Sondaj Kuyuları | 136 |
| EK-4 :Kuyu Logları | 138 |
| EK-5 :Labaratuvar Deney Föyleri | 143 |
| EK-6 :Özdirenç Çalışmaları..... | 145 |
| EK-7 :Atık Su Hattı Raporu Jeofizik Çalışmalar | 154 |
| EK-8 :Yapı Hasarlarının Dağılımı | 161 |
| EK-9 :Derin Basıncılı Akiferin Piezometriksu Düzeyleri | 163 |
| EK-10 :SPT- N ₃₀ Artış Derinliğinin Dağılımı | 165 |
| EK-11 :Zemin Kesitinde İnce Taneli Tabaka Oranı | 167 |
| EK-12 :İAOSB Alanı ve Yöresinin Depremselliği ve Sıvılaşma Potansiyelinin İncelenmesi | 169 |

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB)'inde meydana gelmiş zemin kaynaklı sorunların araştırılması, tartışılması ve değerlendirilmesi olarak tanımlanabilir. İAOSB alanında aşırı yeraltısuyu çekimine bağlı olarak alansal oturmalar meydana gelmiş ve yörede mevcut fabrika binalarında önemli hasarlar oluşmuştur.

1.2 Çalışma Yöntemleri

Araştırmaya kaynak teşkil edebilecek çalışmalar toplanmıştır. (Geosan, 1998 DEÜ, 2002; EgeTemel Sond., 2000) Bu kaynaklar esasen gerek veri gerekse de getirdikleri yaklaşımlarla araştırmaya temel teşkil etmektedir.

Ayrıca, sanayi alanında gözlemler yapılmış, yetkili kişilerden bilgi ve kaynak temin edilmeye çalışılmıştır.

İnceleme alanı Gediz Nehri nin getirdiği alüvyonel zeminlerle kaplıdır. Bu nedenle, büyük ölçekli harita yapımına gerek duyulmamış, sondajlardan elde edilen zemin profillerinden yararlanılarak yeraltında mevcut katmanların yanal ve düşey yöndeki yayılımları ortaya çıkartılmıştır.

İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde yukarıda bahsedilen sondaj firmaları tarafından önceden yapılmış çalışmalardan elde olunan laboratuvar deney sonuçları doğru olarak kabul edilmiş ve alansal oturma hesaplarında bu değerler aynen kullanılmıştır.

1980'li yıllarda alt yapısı yapılp kuruluşuna başlanan İAOSB (İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi)'nde yapılaşma büyük oranda tamamlanmış olup bölgede

50 meslek grubundan 500 kadar kuruluş bulunmaktadır. Bu tesisler su gereksinimlerini karşılayabilmek amacıyla çok sayıda derin sondaj yaptırarak, yeraltından su çekimine başlamıştır. (1998 yılı verilerine göre 130 adet). 1997 yılı ikinci yarısında görülen uzun ve şiddetli iki yağış sonrasında oldukça geniş bazı alanlarda su baskınları yaşanmıştır. Su baskınlarının nedenleri araştırılırken yağmur suyu drenaj sisteminin kotlarında 2.00 metreye varan oturmalar saptanmıştır. Oluşan sellenmeler ve yollarda oluşan çökmeler ile drenaj kanallarının görev yapamamaları nedeniyle oluşan zemin oturmaları sonucunda üst yapı hasarları da oluşmuştur. Bu amaçla ilgili tüm raporların incelenmesi ve güncel arazi gözlemlerinden yararlanılarak oluşan çökmelerin gerçek nedenleri ve gelecekteki olası etki alanları araştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda zemin oturmalarının bina yükleri ile ilgili olmadığı, genelde tüm alanda oluşan oturmalarla söz konusu alanın bir bölümünün deniz seviyesinden daha derinde kaldığı, bir bölümünün 0.00-0.50 m kotları arasında bulunduğu ve oturmaların kısmen devam ettiği kısmen de tamamlandığı anlaşılmıştır. Oturmaların temel nedeninin ise 1998 yılı verilerine göre piyezometrik su düzeyinin 5.00 m'den yaklaşık 55.00 m'lere düşmesi sonucu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışma ile aşağıdaki soruların tümüne cevap aranmaya çalışılmıştır.

- Oturmaların nedeni, devam edip etmeyeceği, devam edecekse süresi ve niteliği
- Görüldüğü alanların genişleyip-genişlemeyeceği, oturma sürecinin durdurulup-durdulamayacağı
- Oluşan oturmaların geri çevrilip-çevrilemeyeceği
- Alınabilecek önlemlerin neler olabileceği ve bu önlemlerin başarısına güvenilip-güvenilemeyeceği

Bu soruların cevapları, yapılan çok kapsamlı jeolojik, jeoteknik, hidrojeolojik ve jeofizik araştırmaların bütünü değerlendirilerek aranmıştır. Sonraki bölümlerde, bu çalışmanın ve elde edilen sonuçların özetlenmesine çalışılmıştır.

1.3 İnceleme Alanının Tanıtılması

İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi, İzmir Körfezinin kuzey kıyısı yakınında, Gediz ırmağı deltasının kıyı kesiminde yer almaktadır (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2).

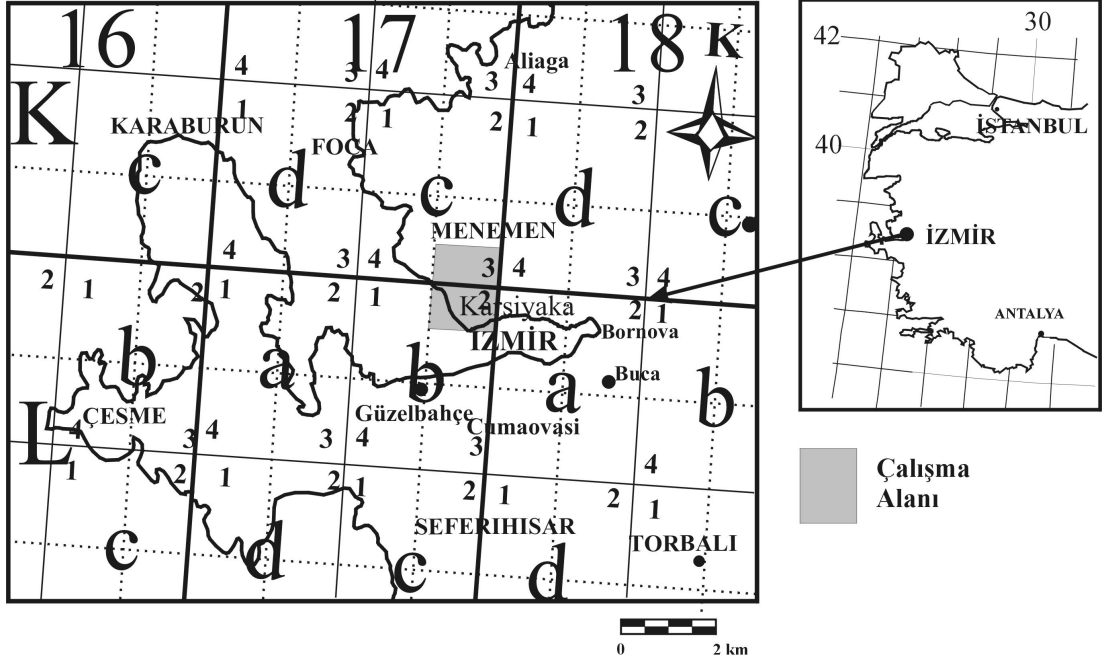
Sanayi bölgesi için mevcut alan, Gediz deltasının üzeri olarak karar verildikten sonra uygulamada önce; Gediz nehrinin deltası değiştirilmiş, nehir yatağının üzerine dolgu yapılarak oluşturulan alan yapılaşmaya açılmıştır.

Bu çalışmanın konusunu oluşturan İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB), İzmir körfezinin kuzey kıyısı yakınında, Çiğli yerleşiminin batısında bulunmakta olup; yaklaşık 6,5 km²'lik bir alanda kurulmuştur. Alan güneyden; İzmir körfezi kıyısı ile sınırlı olup güneybatısında Mavişehir, batısında Çiğli Havaalanı, kuzeyinde ise Tekel tesisleri yer almaktadır (Ek 1). İzmir'de organize sanayi bölgesi kurulması düşüncesi 1968 yılında ortaya atılmıştır. Nazım imar planı 1973 yılında bitirilmiş ve 1980'li yıllarda altyapısı yapıp kuruluşuna başlanan bölgenin büyük bölümünde yapılaşma tamamlanmış olmakla birlikte, boş ve yapılaşmaya yeni başlanan parseller de bulunmaktadır. Organize Sanayinin yerinin Gediz Nehri'nin deltası üzerinde kurulmasına 1973'te karar verilmiştir. Uygulamadan önce Gediz Nehri'nin deltası değiştirilmiştir.

İnceleme alanına, İzmir- Çanakkale yolu ile ulaşılabilir. Bölge, 1/25000 ölçekli L17-b2 paftasının kuzey bölümü ile K17-c3 paftasının güney bölümünün birleşiminde yer almaktadır.



Şekil:1.1 İnceleme Alanı ve Çevresi.

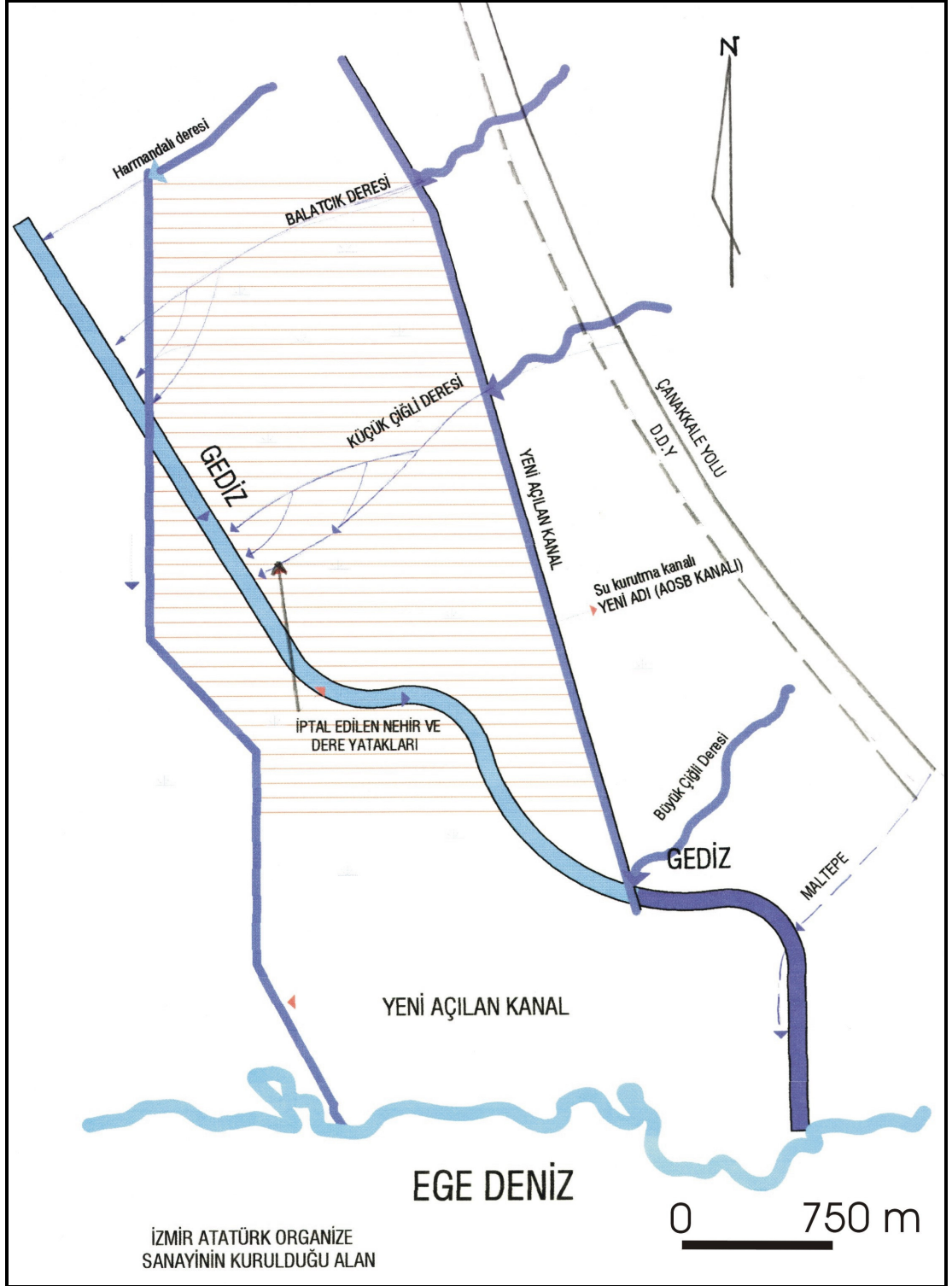


Şekil 1.2. İzmir'de inceleme alanının yerini gösteren lokasyon haritası.

Eski Gediz yatağı inceleme alanını KB-GD yönünde katetmektedir (Şekil 1.3). Eski Gediz'e KD'dan GB'ya doğru akarak besleyen dereler sırasıyla kuzeyden güneye doğru:

- 1) Harmandalı Deresi
- 2) Balatçık Deresi
- 3) Küçük Çiğli Deresi
- 4) Büyük Çiğli Deresi 'dir (Şekil 1.3).

Bu dereler günümüzde yeni açılan kanalı beslemektedirler. (Şekil 1.3). Bu kanal günümüzde IAOSB kanalı olarak anılmaktadır.



Şekil 1.3 İzmir Atatürk Organize Sanayi Sitesi civarındaki drenaj sistemi.

BÖLÜM İKİ

ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ

Batı Anadolu'da dört ana paleotektonik birim gelişmiştir. Bu birimler kuzeyden güneye doğru sırasıyla Sakarya kıtası, İzmir-Ankara kenet (Mesozoyik) zonu, Menderes masifi ve Likya naplarıdır (Şengör vd., 1985; 1987; Yılmaz, 1997). Sakarya kıtası metamorfik ve non-metamorfik birimlerin birleşimiyle oluşmuş taban birimidir. Mesozoyik ve Senozoyik birimler bu taban biriminin üzerini örtmektedirler.

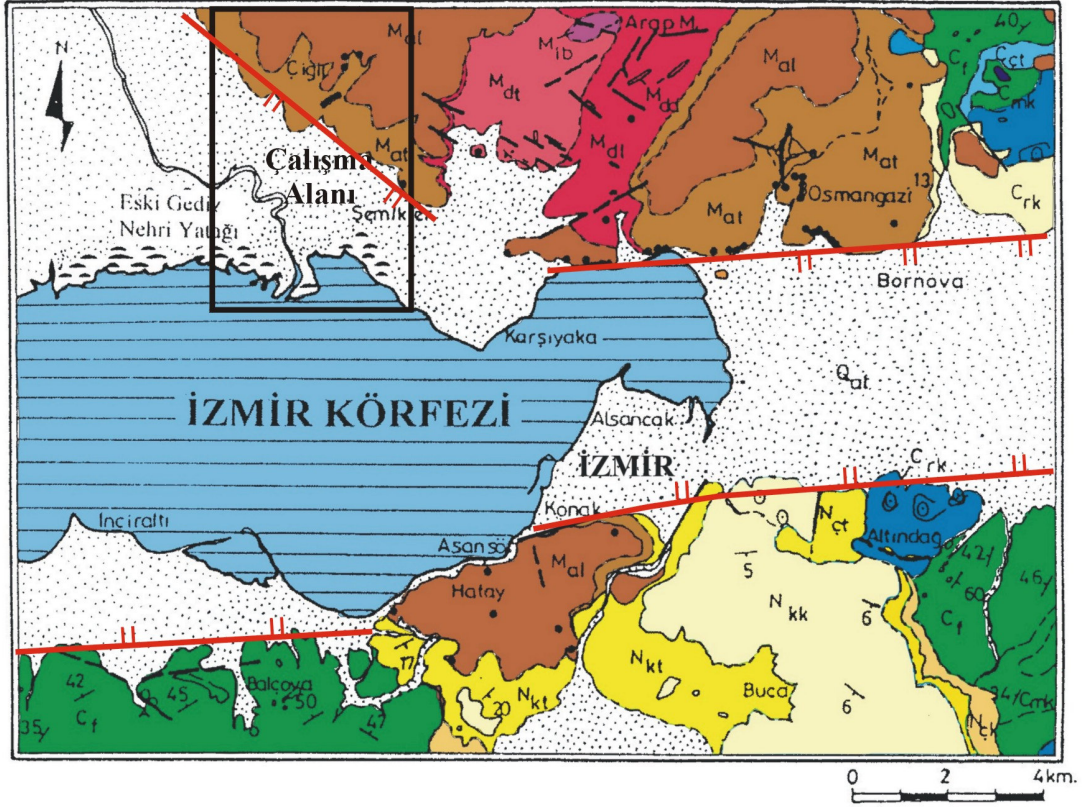
İzmir-Ankara kenet zonu Sakarya kıtası ve Menderes masifi arasında yer alır. Bu bölge genel olarak ofiyolitik melanj ve peridotitlerden meydana gelir. İzmir-Ankara kenet zonunun bazı kesimlerinin Üst Kretase ve Alt Miyosen dönemleri arasında metamorfizmaya uğradığı tahmin edilmektedir. Bu jeolojik birim, İzmir yakınlarında Bornava melanjı olarak adlandırılır (Kaya, 1981; Yılmaz, 1997). Melanj deformasyona uğramış volkanik, tortul birimlerden meydana gelir. Bu birimler, bazik lavlar, şeyler ve kumtaşları içerir. Kireçtaşları, serpantinitle, ve mermer blokları da melanj birimi içerisinde gözlenebilmektedir. Melanjın yaşı, kırmızı kireçtaşlarının incelenmesinden Üst Kretase olarak tahmin edilmiştir (Erdoğan, 1990).

Menderes masifi Batı Anadolu'daki en önemli metamorfik birimdir. Bu birim İzmir-Ankara kenet zonu ve Lika napları arasında yer alır. Menderes masifi karmaşık bir litoloji ve yapıya sahiptir. Masifin yaşı 35+5 milyon yıl olarak tahmin edilmektedir (Şengör vd., 1984). Likya napları, Menderes masifi ve Bey Dağları otokton birimi arasında uzanmaktadır. Üst Kretase döneminde İzmir- Ankara kenet zonu boyunca oluşan dalma-batma sırasında okyanus kabuğunun Anatolid-Torid platformu üzerine binmesi ile gelişmiştir. Daha sonra, Üst Paleosen-Alt Eosen dönemindeki kıtasal çarpışma sırasında bu karmaşık birim yeniden değişime uğramış ve Likya naplarının orijinal karmaşık birimi şekillenmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1984; Ersoy, 1990; RADIUS, 1999).

Ana paleotektonik birimler Orta Miyosen dönemi öncesinde birleşmişler ve Batı Anadolu'nun jeolojik yapısını oluşturmuşlardır. İzmir ve yöresindeki temel jeolojik birimler Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Batı Anadolu, dünyanın en hızlı deformasyona uğrayan bölgeleri arasında yer alır. Bölgede kuzey-güney doğrultulu açılımın hızı yaklaşık 30-40 mm/yıl değerindedir. Günümüzde süregelen depremsellik bu hareketin en önemli göstergesidir. Faylanma, sıcak su kaynakları ve volkanik aktivite bölgenin temel karakteristikleri arasındadır. Günümüz morfolojisi doğu-batı doğrultulu ana graben sistemlerinden oluşmaktadır. Bunlar kuzeyden güneye; Bakırçay, Simav, Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes, ve Gökova grabenleridir (Taymaz vd., 1991; Paton, 1992).

Batı Anadolu ile İzmir ve çevresinin jeoloji haritası Şekil 2.1'de verilmektedir. Bu şekilde görüldüğü üzere İzmir körfezinin kuzey ve güney kıyılarını alüvyon örtüsü kaplamaktadır.



| | | | | | | | | |
|--------|---------|---------------|---|----------------------|------------------|------------------------------------|---|--|
| NEOJEN | MIYÖSEN | Kuvaterner | Qal | Alüvyon/Yamaç Molozu | BORNVA KARMASIĞI | Üst Kretase / Paleosen | Cf, Cmk, Cct | Kireçtaşı Olistolitleri Mikritik Kireçtaşı Çakıltaşı |
| | | Mib, Mbs, Mfs | Intrüzyon Breşi Silisifiye dasitik dayklar Felsik intrüzyon | Ü. Kretase | | Crk | Rudist seyl kırıntıları içeren Kireçtaşı | |
| | | Mal | Andezit lavı | Ü. Triyas | | Tmdk | Megaladonlu Kireçtaşı | |
| | | Mat | Aglomera | | | | | |
| | | Mdt | Dasitik lav | | | | | |
| | | Mdt | Dasitik tül | | | | | |
| | | Nkk | Kireçtaşı | | | | | |
| | | Nkt | Marn/Killi Kireçtaşı | | | | | |
| | | Nck | Çakıltaşı | | | | | |
| | | Tçkt | Taban Çakıltaşı | | | | | |
| | | | | | ● | Volkanik kayalardaki taşocakları | | |
| | | | | | ⊙ | Kireçtaşlarındaki taşocakları | | |
| | | | | | ○ | Bornova Karmaşığındaki taşocakları | | |
| | | | | | 34 | Katman doğrultu ve eğimi | | |
| | | | | | — / — | Normal faylar | | |
| | | | | | — / — | Bataklık alanlar | | |

Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (Koca, 1995).

2.1 İzmir ve Çevresinin Alüvyon Morfolojisi

Neotektonik dönem içinde gelişen kabuk hareketleri İzmir çevresindeki jeomorfolojik birimlerin temellerini oluşturmuştur. Bu dönemin ilk aşamasında, İzmir-Ankara kenet zonu parçalanmış, KD-GB ve KB-GD doğrultulu açılımlar meydana gelmiştir (Kayan,2000). Bu aşamayı Menderes masifinin yükselmesi izlemiş, yükselen bloklar arasındaki çukurlukları Miyosen gölleri doldurmuştur. Bu dönemde bölgede şiddetli bir volkanik aktivite de gelişmiştir. Miyosen sonundan başlayarak, yükselen bloklar arasındaki vadiler derinleşmiş, doğu-batı doğrultulu parçalanmış yeni formasyonlar oluşmuştur. Günümüz morfolojisi bu faylanma ve parçalanma sürecinde şekillenmiştir. Gediz grabeninin Kemalpaşa-İzmir kolu bu genç depresyonların en önemlilerinden biridir. Vadinin tabanı Post-Miyosen'de sel tipi karasal birikintilerle dolmuş ve alüvyon örtü karasal birimi örtmüştür (Kayan, 2000).

İzmir körfezi kıyılarındaki alüvyon düzlükleri Pliyosen'den beri süregelen tektonik hareketlerin oluşturduğu karasal birimi kaplamıştır. Dağların yüksek seviyelerinden nehirlerin ovaya taşıdığı iri malzeme, birikinti konileri biçiminde depolanırken, bu malzeme tektonik hareketlerle dağ blokları ile birlikte yükselmiştir. Daha ince malzemeler ovanın orta bölümünde toplanmıştır. Yükselen blokların sonradan aşınması sonucunda daha alçak seviyelerdeki tabana aşınmış malzeme taşınmıştır. Karşıyaka ve Bornova'nın kuzeyindeki tepelerde bu aşınma alanları görülebilir. İzmir Körfezi kıyısında iri volkanik bloklu ya da kireçtaşı kırıntılı çökeller mevcuttur. Bu oluşumlara körfezin güneyinde rastlanmamaktadır. Bu birimin kuzeye doğru görülmesi Bornova ovasının güneye doğru kayarak derinleştiğini göstermektedir (Kayan, 2000).

İzmir Körfezini çevreleyen alüvyon düzlükleri jeomorfolojik gelişimlerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Karşıyaka genel olarak, Yamanlar dağı etekleri önünde gelişmiş bir delta ağzıdır. Karşıyaka/Bostanlı bölgesinin kuzeybatısında yer alan Eski Gediz nehri deltası, Kuvaterner dönemde Gediz nehrinin taşıdığı

alüvyonların birikmesi ile şekillenmiştir. Gediz nehri yatağı on dokuzuncu yüzyıl sonlarında İzmir Körfezinin kuzeybatı ağzına doğru yönlendirilmiştir.

İzmir Körfezini çevreleyen alüvyon düzlükleri jeomorfolojik gelişimlerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Karşıyaka genel olarak, Yamanlar dağı önünde gelişmiş bir delta ağzıdır. Karşıyaka/Bostanlı bölgesinin kuzey batısında yer alan Eski Gediz nehri deltası, Kuvaterner dönemde Gediz Nehri'nin taşıdığı alüvyonların birikmesi ile şekillenmiştir. Gediz Nehri yatağı on dokuzuncu yüzyıl sonlarında İzmir Körfezi'nin kuzeybatı ağzına doğru yönlendirilmiştir.

İzmir Körfezi ile ilgili bilimsel araştırmalar, 1836-1837 yıllarında İngiliz deniz subaylarının harita çalışmaları ile başlamıştır. İzmir Limanı yapımına 1867 yılında Fransız Guiffroy şirketi tarafından başlanmış ve 1876 yılında tamamlanmıştır. Yabancıların İzmir Körfezi ve Limanı üzerine araştırmaları 1884 yılına kadar devam etmiştir. Bu araştırmalar sonucunda, İzmir Limanı'nın tehlike altında olduğu anlaşılmış ve Osmanlı Devleti'ne 'İzmir Körfezi'nde büyük gemiler için seyir kanalı sürekli olarak daralıyor' (Kiepert, 1887) uyarısı yapılarak önlem alınması istenmiştir. Ege kıyılarındaki birçok kent akarsuların getirdiği tortullar altında kalmıştır. Birkaç koldan İzmir Körfezi'ne birleşen Gediz Nehri de taşıdığı tortullarla İç Körfezi doldurmaktadır (D.E.Ü Modül Senaryosu, 2006).

Eski kayıtlara göre, Sadrazam Sait Paşa'nın emriyle Gediz Nehri'nin yatağı değiştirilerek (Şekil 1.3) Gediz'in suyu Foça güneyinden denize akıtılmıştı (Şekil 2.1). Böylece, Gediz Nehri'nin eski kolları kurutulmuş ve İzmir Körfezi'nin tortullarla dolması önlenmiş ve İzmir Limanı'na gelen yük gemilerinin seyir yolu güvence altına alınmıştı.

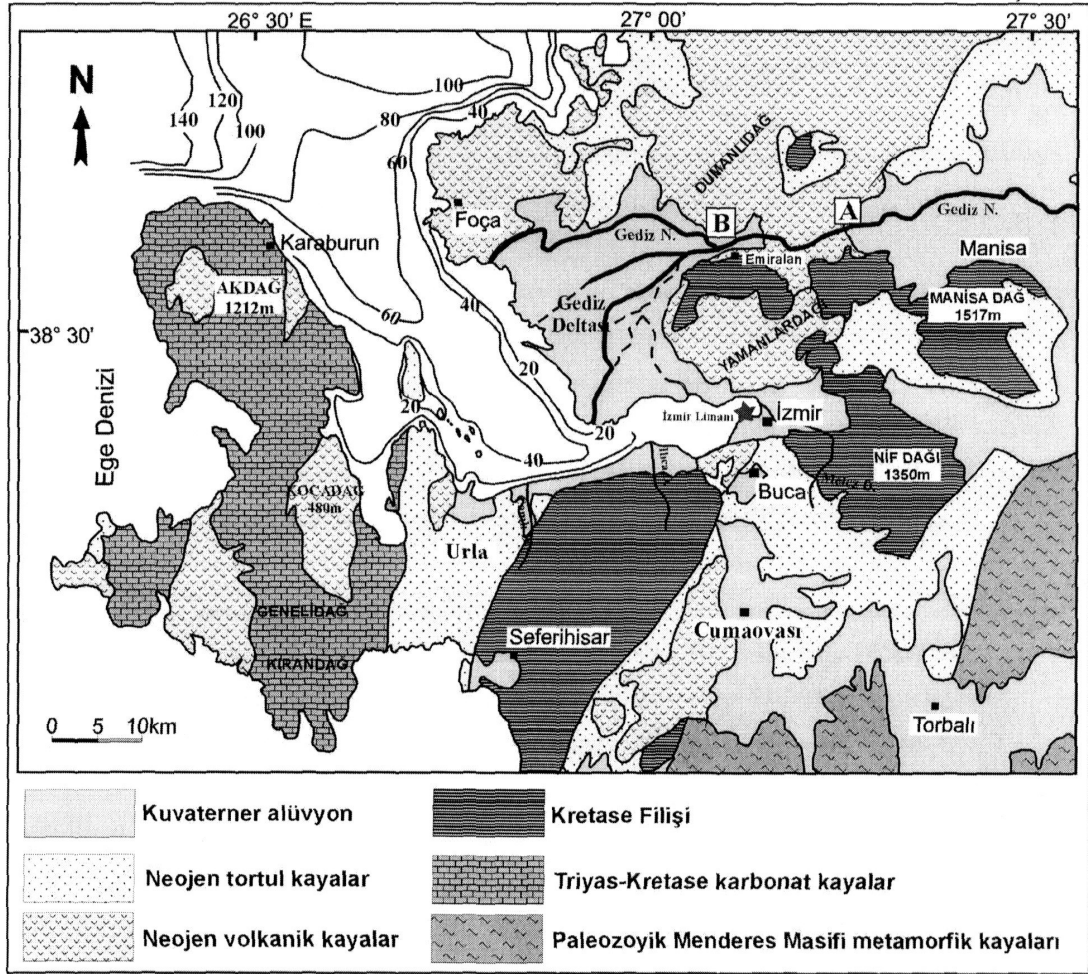
Gediz Nehri, Kütahya yakınlarında Murat ve Şaphane dağlarından doğar, Uşak ve Manisa il sınırları içinde birçok küçük dere ve çay ile beslenerek İzmir Körfezi'ne kadar 401 km akar. Gediz Nehri, özellikle yağışlı dönemlerde hızlı, çok çalkantılı ve bulanık, yağışsız dönemlerde ise yavaş, düzgün ve berrak akar. Nehir Emiralem kuzeyinde, Neojen yaşlı dasidik ve andezitik volkanik kayalar üzerinde ve giderek

genişleyen yatağı içinde akar ve bu noktadan itibaren kollara ayrılarak Gediz Deltası'nın (40,000 hektar) morfolojisini oluşturur (Şekil 2.1).

İç Körfez'e ulaşan en önemli akarsu Gediz Nehri'dir. Körfez çevresindeki yükseltiler, Paleozoyik-Kuvaterner arası yaşlı, kolay ayrışan tortul ve volkanik kayalardan yapılıdır (Şekil 2.1).

Körfezin 0-5 m derinliğinde siltli kum, kumlu çakıl ve çakıllı kum, 5-35 m derinliğinde kum, çakıllı-çamurlu kum, çamurlu kum, killi kum ve siltli kum, 35 m'den daha derinde ise çakıllı killer ve çamur bulunur (Eryılmaz ve Eryılmaz, 2003).

Sondaj verilerine göre, Gediz Nehri'nin Kuvaterner'deki taşkınlarıyla oluşan Gediz Deltası'nın kara bölümünde, 200 m'den kalın tortul istif vardır. Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB) ve Karşıyaka-Çiğli yerleşimi, bu istifin en genç tortullarından oluşan alüvyal zemin üzerindedir. Zemin araştırma raporlarında, aşırı yeraltı suyu çekimi (~ 3 milyon m³/yıl) nedeniyle oluşan boşlukların hareketlenmesi sonucu, İAOSB zemininin 3 m oturduğu, bölgenin oturma nedeniyle karaya doğru eğimlendiği düşünülmektedir.



Şekil 2.2 İzmir Körfezi çevresinin jeoloji haritası (Genç ve diğ. 2001 ve Aksu ve diğ. 1990'dan birleştirilerek ve yalınlaştırılarak alınmıştır).

2.2 Eski Gediz Nehri Deltası Alüvyonları

Çiğli-Bostanlı yöresi 30 yıldır şehrin yoğun nüfusa sahip bölgelerinden biridir. Yüksek katlı binalar, apartmanlar ve sanayi tesisleri alüvyon delta zeminleri üzerine inşa edilmişlerdir. Bölgede yüzeyden takriben 50-100 m derinde karasal kökenli, kahverengi, aşırı konsolide katı-çok katı killer mevcuttur. Gediz nehrinin taşıdığı Kuvaterner yaşlı alüvyon çökeller karasal kökenli killeri örtmektedir. Bu alüvyon çökeller genellikle normal konsolide ya da konsolidasyonunu henüz tamamlamış zeminlerden oluşmaktadır.

İnceleme alanı, (İAOSB); deltanın kıyı kesiminde, ırmağın yatağının değiştirilmesiyle geniş bir alana yayılmış Kuvaterner yaşlı alüvyonların üzerinde yer

almaktadır. Yatağın yer değiştirmesine bağlı olarak, ırmak yatağı çevresi ve kıyı (sed) bölgelerinde kum, çakıl gibi iri taneli zeminler; bu bölgelerin ardındaki lagüner alanlarda ise kalın tabakalar halinde killi, siltli taneler çökelmiştir.

Deltanın oluşturduğu 2-3 metre yüksekliğindeki bu alçak ova; batı ve güneyinden deniz kıyısı, doğu ve kuzeyinden ise volkanik kayalar ile sınırlıdır (şekil 2.2). Volkanik kayalar, Yamanlar volkaniti birimi olarak adlandırılmışlardır (Akartuna, 1962). Çalışma alanının kuzey, kuzeydoğu kesimlerinde yükselteler sunarlar.

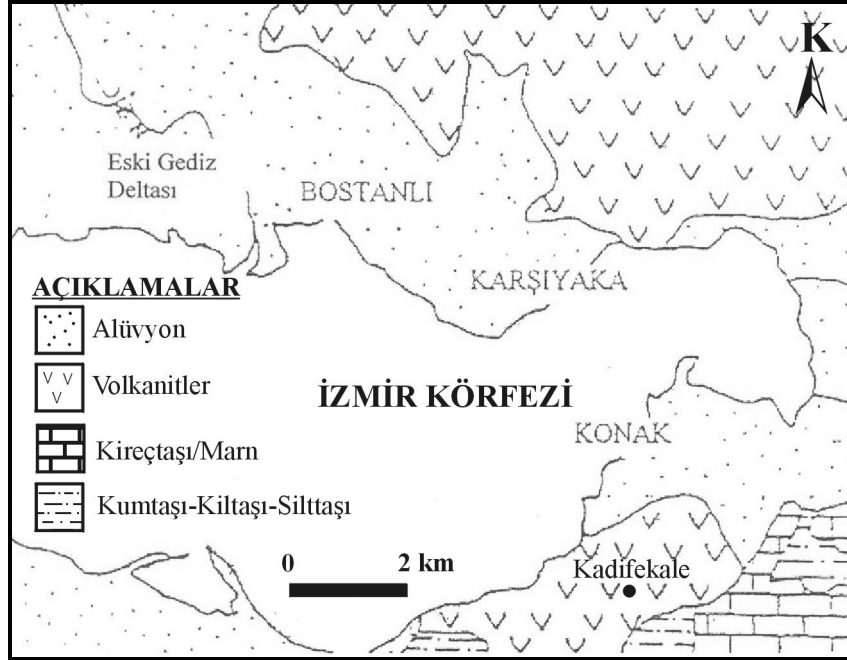
Bileşimsel olarak, akma yapıları sunan andezitik lavlar, tüf ve breşlerden oluşan volkanit birimi, ileri derecede hidrotermal alterasyona uğramıştır. Kayaların zayıflık yüzeyleri boyunca gelişen bir çok akaçlama ağı kuzey doğuya doğru nehirleri oluşturmuştur. Aşınma ve taşınma ile alçak kesimlerde bu şekilde delta ovasının teşkili gerçekleşmiştir. Yamanlar volkanit birimi güneybatıya doğru, alüvyonun altında gittikçe derinleşerek devam etmektedir (Koca,1995).

İnceleme alanındaki alüvyon birimi, kısa sürede büyük kalınlıklarda birikmiş killi, siltli, kumlu, çakıllı gereçten oluşmaktadır. Çökellerin kalınlığı DKD'dan BKB' ya doğru hızla artmakta, birkaçyüz metreye ulaşmaktadır. İAOSB'si doğu sınırında 140 metre olan alüvyon kalınlığı, güney batıda 320 m olarak tespit edilmiştir (Geosan, 1998).

Gediz deltasının yakın dönemlerinde ırmak güneye doğru akarken; yatağın yönü yapay yollarla batıya doğru değiştirilmiştir (şekil 2.2). Bu şekilde; alüvyondaki çökelen killi, siltli, kumlu tabakalar düzenli yayılım sunmayıp birbirlerine yatay ve düşey yönde geçişler göstermektedir.

Bununla birlikte sahada yapılan çok sayıda su ve temel araştırma sondajları neticesinde, istifin belirgin bir tabakalaşmaya tabi tutulabileceği görölmüştür. Buna göre alüvyonda ilk 40-90 metrelerde, yumuşak killi-siltli tabakalar belli bir derinlikten sonra yerini çakıllı, kumlu, killi sert ve sıkışmış tabakalara bırakır. Özetle İAOSB arazisi; genç, sıkışmamış, yanal yönde süresiz kum, silt, kil

tabakalarından oluşan çok kalın bir alüvyon istifinin gözleendiği bir delta ovasında yer almaktadır.

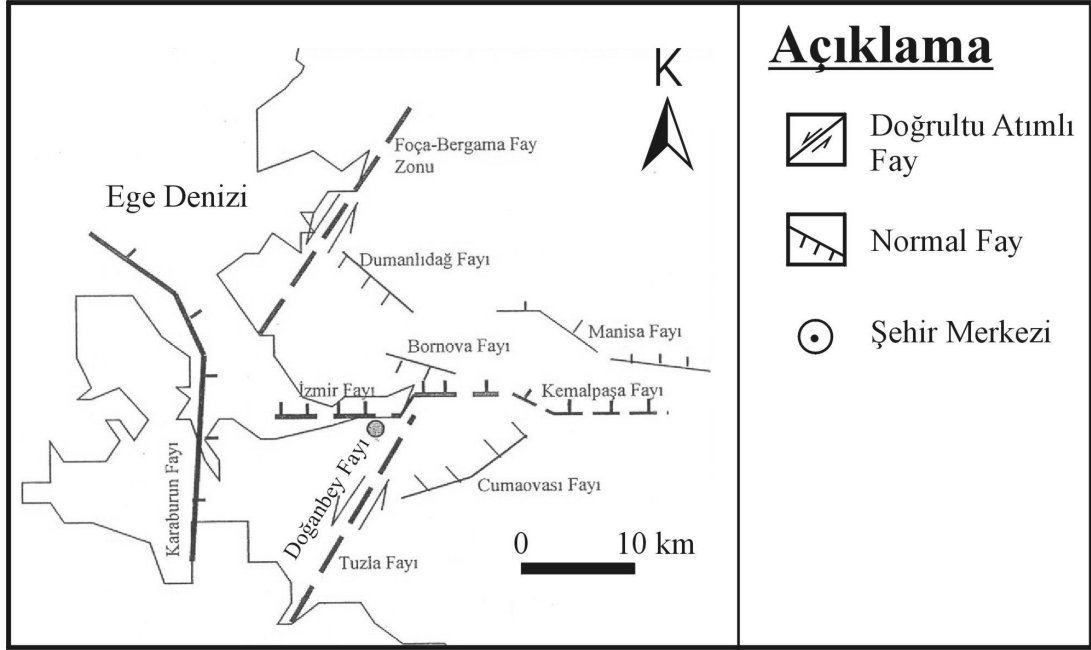


Şekil 2.3 Eski Gediz Nehri Deltası ve Bostanlı Bölgesi.

2.3 İzmir İli Yakınındaki Aktif Faylar ve Fay Zonları

Ülkemizde deprem aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerden Batı Anadolu kuzey-güney doğrultulu açılma tektoniğinin etkisinde olup, bölgede bu tektonik yapıdan kaynaklanan çok sayıda doğu-batı doğrultulu graben sistemleri gelişmiştir. Batı Anadolu'nun orta bölümündeki ana graben sistemleri Gediz ve Büyük menderes grabenleridir. Bölgede ana graben sistemlerine paralel olarak normal faylar gelişmişlerdir.

İzmir civarına en yakın sismik alan gediz graben sisteminin batı ucunda yer almaktadır. Bu graben sistemindeki tektonik yapılar normal faylardır. Gediz graben sistemi dışındaki neotektonik dönem yapıları doğrultu atımlı fay karakteristikleri taşımaktadır (Kıncal, 2005; Kaya, 1981).



Şekil 2.4 Çalışma alanı etrafındaki aktif faylar (Kaya, 1981).

Batı Anadolu'nun deprem etkinliği aletsel dönemin başlangıcından beri sismolojik anlamda izlenmektedir. Bölgede sismik aktivite 10-15 km derinlikte gerçekleşir. Depreme yol açan fayların uzunlukları yaklaşık 10-30 km civarındadır (Şekil 2.4).

Bu faylar ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda sunulmaktadır.

İzmir Fayı: Doğu-batı doğrultulu İzmir fayı; İzmir körfezinin güneyinde yer almaktadır. İzmir'de hasara neden olan depremler üretmiştir. Fay uzunluğu yaklaşık 35 km'dir. Fayın batıda yer alan kolu Üçkuyular ve Güzelbahçe arasında İzmir körfezinin güney kıyısına paralel uzanmaktadır (Tarcan ve Koca, 2004). İzmir fayı, tarihsel dönemde yıkıcı depremler üretmiştir. Grabenleri denetleyen faylar aktif normal fay olarak kabul edilmektedir. 1688, 1739, 1778 depremleri merkez üslerinin İzmir fayı üzerinde ya da çok yakınında olduğu tahmin edilmektedir.

Tuzla fayı: Bu fay İzmir'in güneybatısında yer almakta ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanmaktadır. Fay uzunluğu yaklaşık 35-40 km'dir. Fayın güneybatı bölümü Ege Denizin'den başlayarak Doğanbey'de kıyıya ulaşır. Sağ yönlü doğrultu

atımlı aktif bir faydır. Fay üzerinde en son $M=6,0$ büyüklüğünde (1992) bir deprem meydana gelmiştir.

Karaburun Fayı: Kuzey-güney doğrultulu bu fay Karaburun yarımadasının doğu kıyısına paralel olarak uzanır ve güneyde Seferihisar Körfezinin batısına ulaşır. Karaburun fayı, normal fay karakteristikleri taşımaktadır. Bu fay üzerinde oluşmuş büyük depremler İzmir körfezi ve Karaburun yarımadasında hasara neden olmuştur (Radius, 1999).

Foça-Bergama Fay zonu: Kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu bu fay zonu İzmir'in Bergama ve Foça ilçeleri arasında uzanmaktadır. Fay zonunun güneybatı bölümü Aliağa yakınında Ege denizine ulaşır. Bu fay, İzmir'in kuzeyinde oluşmuş büyük depremlerin kaynağı olarak belirlenmiştir. İzmir'in kuzeyinde kaydedilen en büyük deprem olan Dikili Depreminin (1939) merkez üssünün bu fay üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Fay zonu, sol yönlü doğrultu atımlı fay karakteristiklerini taşımaktadır (Radius, 1999).

Manisa Fayı: Kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Manisa Fayı, Turgutlu ve Manisa arasında uzanır ve normal fay karakteristiklerini taşır. Fay uzunluğu yaklaşık 25 km'dir. Fayın batıdaki kolu, doğu-batı doğrultulu Kemalpaşa fayını keser. Manisa kent yerleşmesi fay tarafından boydan boya kat edilmektedir. Fay üzerinde meydana gelebilecek depremlerde önemli ölçüde yüzey deformasyonlarının olabileceği belirtilmektedir (Emre, vd., 2005).

Bornava Fayı: Bu faylar, İzmir körfezinin kuzeydoğusunda yer alır ve kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanır. Neotektonik dönemde şekillenen Bornava fayı normal fay karakteristiklerini taşır.

Dumanlıdağ Fayı: Menemen'in kuzeyinde yer alan kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu fay zonu, Dumanlıdağ Fay zonu olarak bilinmektedir. Fay zonu, sol yönlü doğrultu atımlı fay karakteristiklerini taşımaktadır. Bu fayın Kuvaterner dönemindeki

aktivitesi hakkında detaylı veri bulunmamaktadır. Ancak, fayın genç morfolojisi nedeniyle aktif olabileceği söylenebilir (Radius, 1999; Emre ve Barka, 2000).

Cumaovası Fayı: Bu fay, İzmir'in güneydoğusunda yer almaktadır. Genel doğrultusu, kuzeydoğu-güneybatıdır. Sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakteristiğini taşımaktadır. 1928 Torbalı Depreminin merkez üssünün bu fay üzerinde olduğu kaydedilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

ZEMİN KESİTİ

3.1 Zemin Kesiti

Ek 2’de İAOSB bölgesi için hazırlanan kesit hatları ve enine kesitler görülmektedir.

Gediz Irmağı deltasında çökelmiş genç ve güncel alüvyon istifinin kalınlığı 100-300 m arasında değişmektedir. Ortalama 60 m’den derinde çakıl-kum-çakıllı kilden oluşan alüvyon kesitinin üzerinde kil-silt ve ince kumlardan oluşmuş bir istif vardır (Ek-2). İnceleme alanında yapılan su ve zemin araştırma sondajları neticesinde; zemin kesitinin ilk 25-50 metreleri ayrıntılı olarak bilinmektedir. Ortalama ilk 60 metrelik kesit boyunca; üst kesimde gevşek kum ve yumuşak/orta sert killer, yaklaşık 20 metrelik bir sınırın altında ise daha sert ve sağlam killer gözlenmektedir.

Yüzeyde 1,00 - 2,50 metre arasında değişen dolgu tabakası yer almaktadır. Bu tabaka; üstte iri bloklu, altta ise blok, çakıl, kum, siltten oluşan kırmızımsı, kahverengi bir gereçten oluşmaktadır. Dolgunun altında kalın killi, siltli, kum arakatkılı seviyelerinin yer aldığı bir istif gözlenir. SPT deneylerinden elde edilen SPT-N₃₀ değerlerine göre, bu zeminlerin yumuşak, orta sert olduğu gözlenmiş ve killi silt, siltli kil, ince kumlu silt, siltli ince kum olarak tanımlanmışlardır. Sahanın genelinde 40-90 metreler arasında kalınlık sunarlar. Ortalama olarak 50 metre kalınlıktaki bu kalın siltli, killi yumuşak zeminler arazinin belirli bölgelerinde değişik kalınlık sunacak şekilde ince kum tabakalarını da içerdiği sondaj loglarının incelenmesinden anlaşılmıştır.

Arazinin KB-B kesitinde sürekli yayılım sunan ince kum tabakası güneye doğru kamalanarak derine doğru dalmaktadır (Ek 2, 8-8’; 7-7’ no’lu kesitler). İnce kum tabakasındaki bu gereçler siltli, çok az killi, mika pulcuklu, bazı düzeylerde bitki kalıntılı olup, siyahımsı, yeşilimsi gri renktedirler. Kesitin büyük bölümünü oluşturan diğer zemin katmanları ise, siltli-kil, killi-silt arasında değişen nitelikli

gereçlerden oluşmaktadır. Bunlar, yeşilimsi ya da siyahımsı gri renkli, bazı düzeyleri kavkılı, ince mika pulcuklu ve ince kumludur.

Zemin kesitinde yumuşak, orta kıvamlı kalın kil, silt tabakalarından sonra belli bir derinlikten sonra kıvamın sertleştiği, SPT değerlerinde belirgin artışın gözlendiği konsolide killi zeminler yer almaktadır. Daha sert ve sağlam killerden oluşan bu zeminler tüm saha boyunca 30-40 metrelik bir kalınlık sunarlar.

Üstteki zeminler ise; kayma dayanımı düşük, orta-katı kıvamlı, sıkışabilir nitelikli ince daneli kil-silt birimleri ile aralarındaki gevşek-orta sıkı ince kumlardan oluşmaktadır.

Özetle, sahadaki zemin kesitinin ince daneli gereçten kurulu ve daha çok batı ve kuzeybatısında kum aratabakaları artan 30.0 m kadar kalınlıklı çok genç bir istif ile bunun altındaki ince daneli gerecin egemenliğindeki biraz daha sıkışmış bir istiften kurulu olduğu söylenebilir.

3.2 Taban Kayası Seviyeleri

Eski Gediz Nehri deltası içerisinde yer alan Çiğli İAOSB ve Mavişehir bölgelerinde oldukça kalın alüvyon tabakalar mevcuttur. Bu bölgelerde taban kayası derinliği ancak su sondaj loglarından tahmin edilebilmiştir. Çiğli İAOSB ve Mavişehir bölgelerine ait su sondaj logları Ek 4’de verilmektedir. Taban kayasının yer aldığı derinliğin bu bölgelerde genellikle 200-250 m derinlik aralığında değiştiği belirtilmiştir.

Taban kaya seviyesi Bostanlı’dan Karşıyaka’ya doğru kademeli olarak azalmaktadır. Karşıyaka stadı yakınında 54 m olarak belirlenen derinlik, Alaybey (Naldöken) kesiminde 23 m’ye inmektedir. Ancak, Alaybey sahil kesiminde taban kayasının ani bir düşüş göstererek 50-60 m derinliğe indiği bilinmektedir. Bu 27-37 metrelik ani kot farkının varlığı bir fay verisi olarak da yorumlanabilir (Körfeze eğimli normal bir fay).

Tablo 3.1 Taban Kayası Seviyeleri.

| TABAN KAYASI SEVİYESİ | KAYA TÜRÜ | KONUM | BİLGİ KAYNAĞI |
|--------------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| (M) | - | - | - |
| 200,0 | ANDEZİT | ÇİĞLİ/İAOSB | GEOSAN(1998) |
| 250,0 | ANDEZİT | ÇİĞLİ/İAOSB | GEOSAN(1998) |
| 250,0 | ANDEZİT | MAVİŞEHİR | DELTA (1997) |
| 270,0 | ANDEZİT | MAVİŞEHİR | DELTA (1997) |
| 54,0 | ANDEZİT | KARŞIYAKA STADI | ÇAKICI (1998) |
| 23,0 | ANDEZİT | ALAYBEY | ÇAKICI (1998) |
| 9,0 | ANDEZİT | BAYRAKLI | ÇAKICI (1997) |

İAOSB: İzmir Atatürk organize Sanayi Bölgesi

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOLOJİ

4.1 Su Durumu

Bölgede üç ana birimden kurulu bir hidrojeolojik ortamın varlığı yer altı suyu üretimine yönelik açılmış su ve zemin sondajlarından anlaşılmıştır. Bunlar:

- Üst zonlarda geçirimsiz sayılan silt ve kil birimlerinin arasında, ilk 30 metrelik derinlikteki ince kum tabakalarında yerleşmiş sığ bir akifer gelişmiştir.

- Alttaki 60 metreden daha derindeki çakıllı, kumlu, çakıllı killi birimlerin yer aldığı derinliklerde mevcut basınçlı akifer, bölgenin su ihtiyacını da (derin kuyular yardımıyla) sağlamaktadır.

- Tabanda ise temel birimi olarak doğudan batıya doğru derinleştiği tespit edilen volkanik kayaların çatlaklarında gelişen suların oluşturduğu bir akiferin varlığından söz edilmiş, fakat bu sistemin yer altı su sistemi içinde herhangi bir belirleyiciliğinin olmadığı belirtilmiştir (Geosan,1998).

4.2 Akiferlerin Hidrolik Parametreleri

4.2.1 Serbest Akifer

İlk 30,00 m derinlikli kesitte yerleşmiş, sığ, tuzlu, serbest akiferdir. Yörede ilk yapılanma aşamasında serbest akiferden yeraltı suyu üretimi yapılmış, ancak daha sonraki aşamalarda yeraltı suyunun hızla tuzlanması nedeniyle üretimden vazgeçilmiştir.

Sığ akiferin yeraltısuyu statik düzeyi 0,70-2,00 m arasında ölçülmüştür (Geosan, 1998). Bu akiferde 1988 yılında arıtma tesisi sahasında yapılan bir araştırmayla hesaplanan geçirimsizlik değeri 8.10^{-5} ile $4,6.10^{-5}$ cm/s arasında bulunmuştur.

Sığ akiferin depolama kapasitesi $S=7.10^{-3}$ ile 7.10^{-3} arasında; iletkenlik değerlerinin ise $T=1-3 \text{ m}^2/\text{gün}$ olduğu belirtilmiştir. Hidrolik gradyan ise çok düşük değerlerdedir.

4.2.2 Basınçlı Akifer

Bölgede çok sayıda kuyu ile yer altı suyu üretiminin yapıldığı derin basınçlı akiferin yeraltı suyu piezometrik düzeyinin saha içinde farklı olduğu tespit edilmiştir. Piezometrik su düzeylerinin saha içinde doğudan ve güneydoğudan batıya doğru hızla azaldığı bilinmektedir. Sahanın güneydoğu sınırında 20,00 m’lerde ölçülen düzey, batı sınırında 40,00 m dolaylarında bulunmuştur. Sahanın kuzey kesiminde piezometrik seviyenin 60 m’lere indiği ve bunun en büyük oturmaların olduğu ikinci alanda ölçüldüğü belirtilmiştir (Geosan,1998).

İAOSB alanında şiddetli bir yer altı suyu çekiminin sürdüğü ve bunun etkisiyle de alansal düşümlerin yaygın olduğu anlaşılmaktadır.

İAOSB’ndeki derin akiferin piezometrik su düzeylerindeki yıllara göre değişim aşağıdaki gibidir.

| | |
|--------------|----------|
| 1987 yılında | 3 metre |
| 1990 yılında | 4 metre |
| 1992 yılında | 7 metre |
| 1994 yılında | 12 metre |
| 1996 yılında | 20 metre |
| 1998 yılında | 31 metre |
| 1999 yılında | 42 metre |
| 2000 yılında | 55 metre |

2000 yılı ve sonraki yıllarda aynı üretimin sürmesi durumunda 60-90 metrelere kadar düşmesi ön görülmüştür (Şekil 4.1).

Basıncılı akiferin hidrolik parametrelerinin saptanması için, kuyularda pompaj deneyleri yapılmıştır. Değişik kuyulara ait pompaj deney sonuçları şöyledir (Öcal, 2000).

1) Saf plastik A.Ş (20.03.1997)

Statik su seviyesi: 18,70 m

Dinamik seviye: 45 m

(Q): 4 lt/s

Pompa derinliği:98 m

Kuyu derinliği:204 m

Tecrit derinliği:80 m

2) Roteks tekstil (1996)

Statik su seviyesi:21 m

Dinamik seviye:64 m

Q: 3 lt/s

3) Ege yıldız 08.1998

Statik su seviyesi:24,80 m

Dinamik seviye: 255 m

Q: 4 lt/s

Pompa derinliği:112,15 m

Kuyu derinliği:212 m

Tecrit derinliği:106 m

4) İAOSB Müdürlüğü 1 no'lu kuyu (14.09.1998)

Statik su seviyesi:38 m

Dinamik seviye: 59 m

Q: 4 lt/s

Pompa derinliği 116 5

Kuyu derinliği 240

Tecrit derinliği 120

4.3 Kuyular

İnceleme alanında açılmış yeraltı suyu sondaj kuyu noktalarının yerleri Ek 3'de görölmektedir.

4.3.1 Sığ Kuyular

Bölgede bulunan sığ kuyuların derinliği 5-40 m arasında değişmektedir. Alüvyonda bulunan kuyuların tamamı deniz suyu girişimi nedeniyle tuzlanmış ve günümüzde kullanılamaz durumdadır

4.3.2 Derin kuyular

Derinlikleri 90-300 m ve debileri 5-10 lt/s arasında değişen kuyulardır. Bu kuyular sulama ve kullanım amaçlı olarak açılmışlardır. Derin kuyuların açılması sırasında basınçlı akiferin kirlenmemesi için, kuyu açılırken tuzlu su içeren üst zonlardaki sığ akifer yalıtılmaktadır. İAOSB sahasında ve yakın çevresinde sayısız yer altı suyu üretim kuyusu açılmış olduğu bilinmektedir. Bu kuyulardan varlığı saptanabilenlerinin sayısı 130 adettir. İAOSB Müdürlüğu tarafından 15 adet derin yeraltı suyu üretim sondaj kuyusu yaptırılmış olduğu bilinmektedir.

Tuzlanma, göçük, sıcak ve mineralli su çıktığı için üç adet kuyunun üretimi durdurulmuştur (Geosan, 1998).

4.4 Beslenme-Boşaltım Döngüsü

4.4.1 Serbest Akifer

İAOSB sahasındaki serbest akifer; yüzeyden süzülme ile ve drenaj kanallarından, temiz su dağıtım şebekesinden ya da pis su deşarjı ve yağmur suyu drenaj tesisatındaki kaçaıklardan sızma ile beslenmektedir

Sığ serbest akifer, doğal olarak kıyı çizgisi ve drenaj kanallarından denize boşalmaktadır. Bu boşalma Çiğli ovasının güney kenarındaki en az 3-4 km uzunluklu kıyı kuşağı boyunca gerçekleşmektedir. Doğal boşalmanın çok büyük bir bölümü ise drenaj kanalı ya da azmaklardan yüzeysel akıyla olmaktadır.

İlk yıllarda bir miktar olsa da sığ serbest akiferden günümüzde kayda değer bir çekim yapılmamaktadır.

4.4.2 Basıncılı Akifer

İAOSB sahasında bulunan basıncılı akifer, üstteki serbest akiferden sızma ile ve doğu ve kuzeydoğudan basınç gradyenine bağlı olarak ile hidrolik akıyla beslenmektedir.

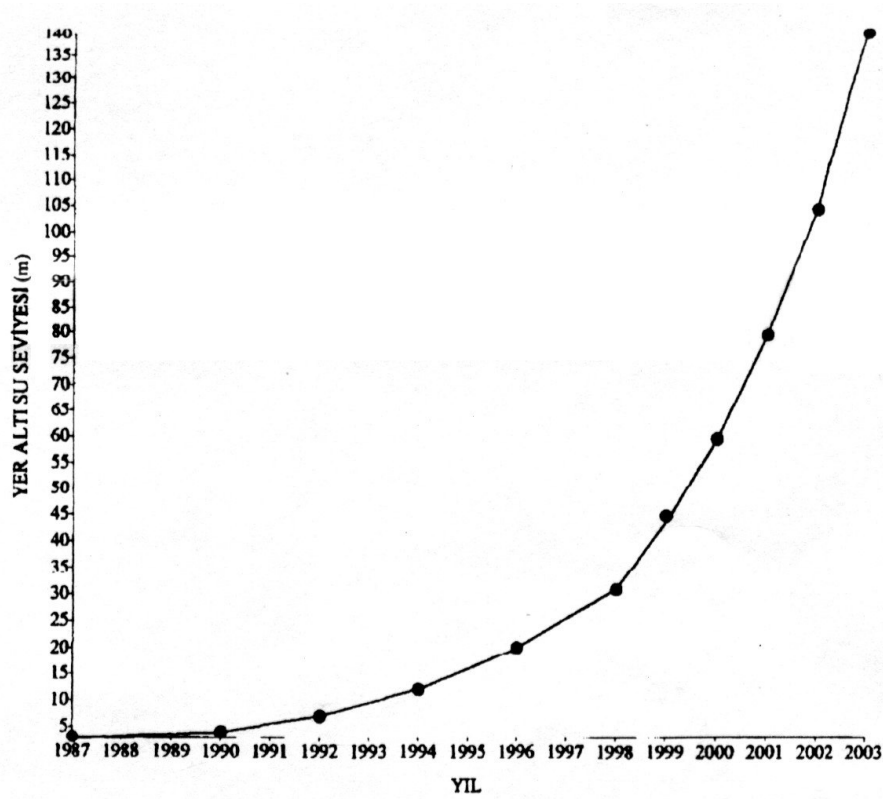
Basıncılı akiferin yıllık toplam beslenme miktarı 1,044,000 m³/yıl dır. Bu kesimden doğal boşalma yok denecek kadar azdır. Çekimlerle boşalma miktarının saptanmasında İAOSB kuyuları ile özel sektör kuyuları ayrı ayrı irdelenmiştir. İAOSB kayıtlarına göre

| | |
|-------------|----------------------------------|
| 1995-1996 | 40,000-80,000 m ³ /ay |
| 1997 ortası | 140,000 m ³ /ay |
| 1998 Mayıs | 120,000 m ³ /ay |

olarak saptanmıştır. 100'ün üzerindeki özel sektör kuyularından en az 50 tanesinden ne kadar su çektiği bilinmemektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu (Geosan,1998).

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Bilinen kuyuların yıllık çekimi | 2,000,000 m ³ |
| Bilinmeyen kuyuların yıllık çekimi | 500,000 m ³ |

şeklinde hesaplanmıştır. İAOSB ile birlikte yıllık toplam çekim ortalama 3,600,000 m³ olarak belirlenmiştir. 1998 yılı için ise bu miktarın yaklaşık 3,000,000 m³ olacağı tahmin edilmiştir. Yapılan hesaplamalar su tüketiminde yıllık ortalama artışın %40 civarında olacağını göstermektedir. Bu da akiferin hızla tükenerek piyezometrik düzeylerin düşmesine neden olacaktır. Bu eğilimin sürmesi durumunda statik su düzeylerinin üstel olarak düştüğü görülmektedir.

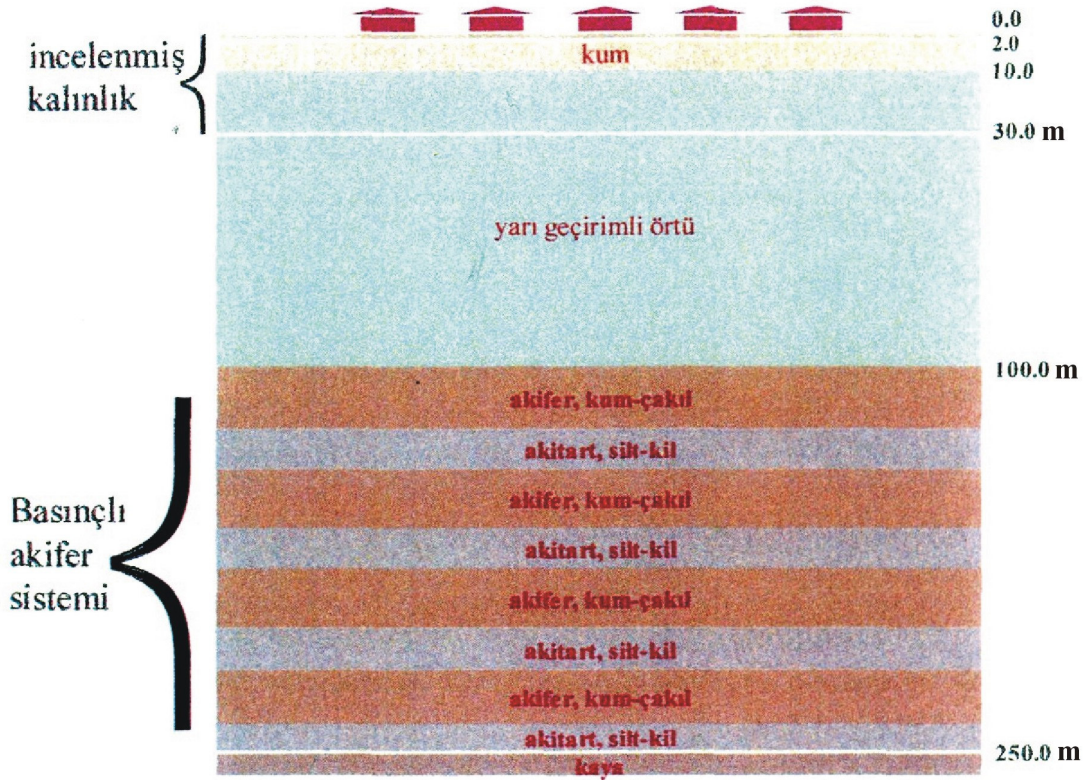


Şekil 4.1 : İAOSB alanında piyezometrik yeraltı su seviyesi değişimi.

Şekil 4.1'den yararlanarak olası düşüm seviyelerinin 1999'da 45 m, 2000'de 60 m, 2001'de 80 m, 2002'de 105 m ve 2003'te 140 m olması beklenmektedir.

1987'den 1998 yılına kadar yapılan statik su seviyesi ölçümleri 3,00-31,00 m aralığında değişmektedir.

1987 yılında İAOSB alanında ölçülen statik yer altı suyu seviyesi 3 m, 1990'da 4 m, 1992'de 7,0 m, 1994'te ise 12,0 m olarak ölçüldüğü yapılan sözlü görüşmelerden anlaşılmıştır.



Şekil 4.2 : İAOSB alanında su çekiminden etkilenen zemin profili.

4.5 Yağış Durumu

Çiğli Bölgesi tipik "Akdeniz İklimi" altındadır. Bölge, yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve ılıman geçmektedir. Yörede yağışlar nisan, mayıs, eylül ve ekim aylarında yüksektir. Diğer zamanlar hemen hemen kurak geçmektedir. 1969-1981 yılları arasında yıllık yağış ortalaması 756,6 mm'dir. (Şekil 4.2). Bölgede yıllık ortalama sıcaklık ise 17 °C'dir. Sıcaklık temmuz ve ağustos aylarında ortalama 30 °C

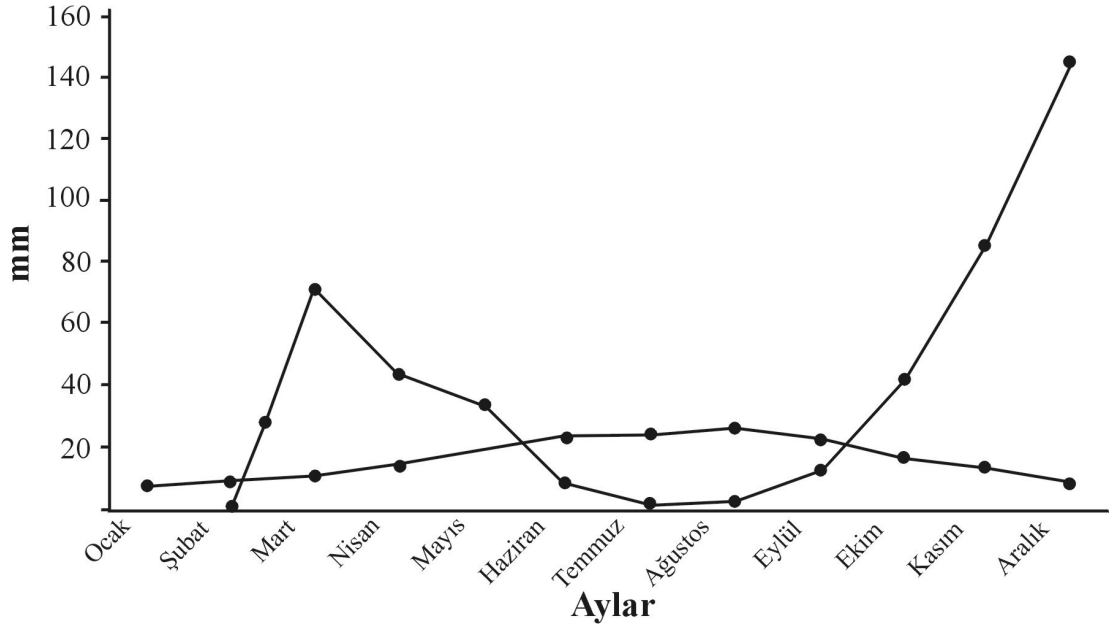
arasındadır. Yağışlar yer altı su seviyesini büyük ölçüde etkilemektedir. Su seviyesi yağışlara paralel olarak yükselim sunmaktadır.

İAOSB yerleşim alanında 1997 yılı ikinci yarısında yer alan uzun ve şiddetli yağmur yağışı sonrasında oldukça geniş bazı alanlarda su baskını yaşanmıştır.

İnşaat sırasında alanın drenajı için bir kanal sistemi 1980’li yıllarda yapılmıştır. Ancak zemindeki oturmalar, kanal akış yönleri denizden ve derelerden İAOSB alanına doğru, terse dönmüştür. Kanallar suyu dere ve denize akıtacağına İAOSB’ye akıtmıştır. Suyu atması gereken kanallar yağmurlu havada suyu içeri taşımıştır. Bütün olumsuz koşullara ek olarak Gediz’in eski yatağı ve iptal edilen yatağın (Şekil 1.3) deşarjı için açılan tahliye kanalı da teressübatla dolarak deniz seviyesine ulaşmıştır. (1999-2000 yılları). Bu nedenle yağmur yağdığında İAOSB alanını su basmaktadır. Hatta kotlar deniz seviyesinin altına indiği için 1990’lı ve 2000’li yılların başlarında yağmura gerek kalmadan da su basabilmekteydi. Bu nedenle İAOSB tarafından pompa sistemi kurulmuştur. Suyun artık yerçekimiyle saha dışına akıtılamayacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle, sahanın en alçak duruma gelmiş ve öyle kalacağı anlaşılan yerinde bir su toplama ve pompalama yapısı inşa edilmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.1 İzmir İli Aylık ortalama Yağış Değerleri ve Yağışlı Günler Sayısı (Öcal, 2000).

| AYLAR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | YILLIK |
|------------------------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|--------|
| ORT. YAĞIŞ (MM) | 136,3 | 102,5 | 71,0 | 43,3 | 34,8 | 9,0 | 2,5 | 2,6 | 13,2 | 43,2 | 86,2 | 146,8 | 619,5 |
| YAĞIŞLI GÜNLER | 13,6 | 11,3 | 9,6 | 8,2 | 5,6 | 2,2 | 0,6 | 0,5 | 1,9 | 5,7 | 8,9 | 13,0 | 81,2 |



Şekil 4.3 İzmir İli Aylık Yağış ve Yağışlı Günler Eğrisi (Öcal, 2000).

BÖLÜM BEŞ

YERİNDE (IN_SITU) ve LABORATUVAR DENEYLERİ

Zemin kesitinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin saha boyunca yanıl ve düşey yönde değışimi, arazide yerinde ve laboratuvar deneyleri ile söz konusu araştırmalarda incelenmiş ve tabakaların zemin parametreleri belirlenmiştir. Bu bölümde, bölge zeminleri için uygulanan yerinde ve laboratuvar deneylerinden bahsedilecektir.

Oturma analizleri için gerekli olan idealize zemin profillerinin belirlenmesinde, ve mikro bölgeleme çalışmalarını için kapsamlı veri kullanılmak durumundadır.

Jeoteknik veriler Kuruoğlu (2006), Geosan (1998), EgeTemel Sond. (2000), Durgunoğlu (2001), mühendislik jeolojisi ve jeoteknik alanlarında faaliyet gösteren diğer özel firmalar tarafından hazırlanmış olan jeoteknik etüd raporlarından elde edilmiştir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 de SK-1 sondajına ait efektif gerilme ve düzeltilmiş SPT-N₃₀ değerlerinin elde edilmesine örnek verilmiştir.

Çalışmamıza kaynak teşkil eden ve daha önce belirtilen yöreye ait jeoteknik raporlardan derlenen laboratuvar deney sonuçları Ek 4'de görölmektedir.

5.1 Yerinde Deneyler

5.1.1 Standart Penetrasyon Deneyleri

Yapılan çok sayıdaki Standart penetrasyon deney sonuçları incelenmiş; darbe sayıları ve bu sayılara göre zeminin kıvam ya da sıklık durumları tespit edilmiştir. SPT deneyleri standartlara uygun olarak (ASTM D 1586, 1990). 1,50 m derinlikte bir yapılmıştır. Deneylerde bulunan SPT-N₃₀ değerlerine düzeltme uygulanmıştır.

Standart Penetrasyon deneyi sırasında, SPT numune alıcısına aktarılan enerji, deney sonuçlarını etkileyen en önemli faktörlerden biri olmaktadır. Ayrıca, ilave düzeltme faktörleri, tij boyuna, delik çapına ve numune alıcısı tipine göre etkili olmaktadır.

SPT-N değerlerinin aynı zamanda, jeolojik yük altındaki efektif gerilme değerine bağlı olduğu da dikkate alındığında, tüm yukarıda sıralanan faktörler için düzeltilmiş SPT-N darbe sayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

Bu bağıntıda; N : sahada ölçülen SPT sayısı, $C_N = 0,77 \cdot \log(20/\sigma'_0)$: jeolojik yük düzeltme faktörü, C_E : enerji düzeltme faktörü; C_B : tij boyu düzeltme faktörü ve C_S : numune alıcısı için düzeltme faktörüdür.

İlgili düzeltme faktörleri aşağıda Tablo 5.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 5.1 Düzeltme faktörleri.

| Düzeltilme faktörü | Açıklama | İndis | Önerilen Düzeltme Değeri |
|---------------------|---|-------|-------------------------------------|
| Jeolojik Yük | | C_N | $C_N \leq 1,7$ |
| Enerji Oranı | Klasik Sistem (donut) Emniyetli sistem Otomatik sistem | C_E | 0,5-1,0 0,7-1,2 0,8-1,3 |
| Delik Çapı | 65 mm'den 115 mm'ye kadar 150 mm 200 mm | C_B | 1,0 1,05 1,15 |
| Tij Boyu | 3 m'den 4 m'ye kadar 4 m'den 6 m'ye kadar 6 m'den 10 m'ye kadar 10 m'den 30 m'ye kadar > 30 m | C_R | 0,75 0,85 0,95 1,0 <1,0 |
| Numune alıcısı tipi | Standart numune alıcısı (kaplamalı tipte) Kaplamaşız standart numune alıcısı | C_S | 1,0 1,1-1,3 |

Aşağıda, Tablo 5.2’de ise SK-1 no’lu sondaj için elde edilen SPT/N₃₀ değerlerinin düzeltilmesi görülmektedir. SK-1 sondajına ait SPT deney sonuçları; Durgunoğlu (2001)’den alınmıştır.

Tablo 5.2 Düzeltilmiş SPT/N darbe sayısı örneği.

| Sondaj | Derinlik | SPT-N30 | $\square v'$ | σv birim | Katsayılar | | | | | SPT N' ₃₀ |
|-------------------|----------|---------|--------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| | | | | | C _N | C _E | C _B | C _R | C _S | |
| No | m | | | | | | | | | |
| SK-1 YASS=1,0m | 1,50 | 28 | 0,220 | 0,270 | 1,50 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 32 |
| | 3,00 | 2 | 0,340 | 0,540 | 1,40 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 2 |
| | 4,50 | 2 | 0,460 | 0,810 | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | 1,00 | 2 |
| | 6,00 | 4 | 0,580 | 1,080 | 1,20 | 1,00 | 1,00 | 0,85 | 1,00 | 4 |
| | 7,50 | 4 | 0,700 | 1,350 | 1,10 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 4 |
| | 9,00 | 5 | 0,820 | 1,620 | 1,06 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 5 |
| | 10,50 | 12 | 0,940 | 1,890 | 1,02 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 12 |
| | 12,0 | 18 | 1,060 | 2,160 | 0,98 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 17 |
| | 13,50 | 12 | 1,180 | 2,430 | 0,94 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 11 |
| | 15,00 | 12 | 1,300 | 2,700 | 0,91 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 11 |
| | 16,50 | 9 | 1,420 | 2,970 | 0,88 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 8 |
| | 18,00 | 14 | 1,540 | 3,240 | 0,85 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 13 |
| | 19,50 | 9 | 1,660 | 3,510 | 0,83 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 8 |
| | 21,00 | 10 | 1,780 | 3,780 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 9 |
| 22,50 | 5 | 1,900 | 4,050 | 0,78 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 4 | |

SPT-N deney sonuçlarına göre killi ve kumlu zeminlerde sıkılık-kıvam ve serbest basınç dayanımı değerlerinin korelatif ilişkileri ise Terzaghi ve Peck (1967)'ye göre Tablo 5.3. ve Tablo 5.4. de görülmektedir.

Tablo 5.3 Kil Türü Zeminlerde SPT/N30-Kıvam İlişkisi.

| Kil Türü Koheziv Zeminlerde N (darbe/30 cm) | q_u (kg/cm ²) | KIVAM |
|--|-----------------------------|-------------|
| <2 | <0,25 | Çok yumuşak |
| 2-4 | 0,25-0,50 | Yumuşak |
| 4-8 | 0,50-1,00 | Orta |
| 8-15 | 1,00-2,00 | Katı |
| 15-30 | 2,00-4,00 | Çok Katı |
| >30 | >4,00 | Sert |

Tablo 5.4 Kum Türü Zeminlerde SPT/N30- Sıklık İlişkisi.

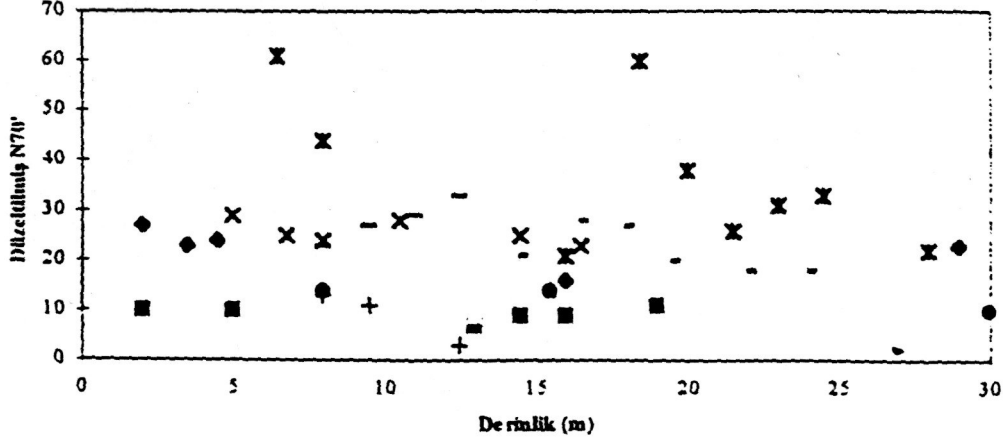
| Kum Türü (Kohezyonsuz) Zeminlerde SPT-N ₃₀ | RÖLATİF SIKILIK |
|--|-----------------|
| 0-4 | Çok gevşek |
| 4-10 | Gevşek |
| 10-30 | Orta Sıkı |
| 30-50 | Sık |
| >50 | Çok Sıkı |

Gerek bu çizelgelerin kullanımında gerekse taşıma gücü veya oturma hesaplarında daima düzeltilmiş SPT-N₃₀ sayıları kullanılmaktadır.

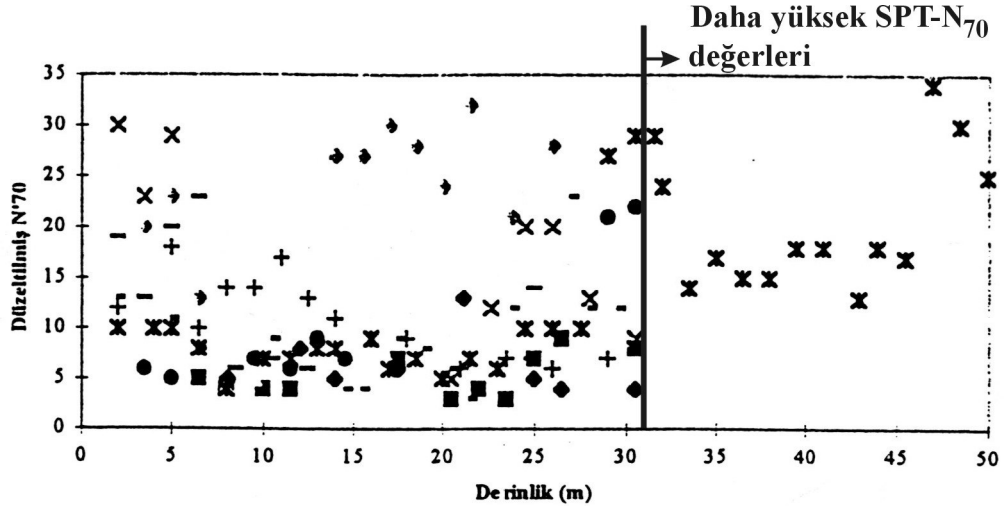
Şimdiye dek toplanan verilerin özetlenmesi gerekirse:

Zemin kesitinde rastlanan kum tabakalarında düzeltilmiş SPT-N'₃₀ değerlerinin 10-30 arasında değiştiği, sıklık durumları ise orta sıkı - sıkı olduğu (Tablo5.4'e göre); silt - kil tabakalarında SPT-N'₃₀değerlerinin 5 - 15 arasında yoğunlaştığı, bazı kesimlerde 30 dolayında olduğu, buna göre kıvam durumlarının yumuşak - katı arasında değiştiği (Tablo 5.3'e göre) ve kesitte bütün saha boyunca belli bir derinlikten sonra SPT-N₃₀ değerlerinin birden yükseldiği ve bu değişim derinliğinin yaklaşık 25 - 30 metrelere karşılık geldiği ifade edilebilir.

Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.de ise sırasıyla kum ve kil-silt tabakaları için elde edilmiş SPT/Derinlik grafikleri görülmektedir.



Şekil 5.1 İAOSB kum tabakaları SPT/ Derinlik Grafiği (Geosan,1998).



Şekil 5.2 İAOSB kil-silt tabakaları SPT/ Derinlik Grafiği (Geosan,1998 verileri kullanılmıştır).

Yukarıdaki iki şekilde görüldüğü üzere inceleme alanında zemin direnci değerlerinin aynı derinliklerde bile çok değişken oldukları görülmektedir. Bu da zemin tabakasındaki yatay ve düşey süreksizliklerin bir kanıtıdır.

5.1.2 Pressiyometre Deneyleri

Sondajların yapımı sırasında presiyometre deneyleri çalışma alanında uygulanmıştır. Bu deney sonuçları ile elde edilen parametreler kullanılarak, sığ temeller için güvenli taşıma gücü ve olası oturmalar; düşey yüklenecek kazıklı temeller için nihai yükler ve olası oturmalar hesaplanmaktadır.

Presiyometre deneyi, önceden açılmış bir sondaj kuyusunda yapılan bir arazi deneyidir. Deneyin esası, bir sondaj kuyusunda, kaplanmamış belli bir uzunluk için, iç radyal basıncın uygulanmasıdır. Deneyde; 1,0 - 2,0 metrede bir sondaja ara verilir, sondaj ekipmanı kuyudan çıkarılır, presiyometre sondası kuyuya indirilir. Sonda, alt ve üstte iki koruyucu lastik hücre ile ortada bir ölçen lastik hücreden oluşur. Koruyucu hücreler, basınçlı gaz ile şişirilir. Ölçen hücre ise basınçlı su ile şişirilir. Gönderilen suyun ve gazların basınçları ölçülür. Hücrelerin yanlara temasından sonra, hücreye gönderilen suyun hacminden yanal (yarıçap doğrultusunda) şekil değiştirme veya hacim değişimi hesaplanır. Yan yüzeylerde göçme meydana gelene kadar yükleme, basınç uygulaması yapılır. Radyal basınç uygulaması kademeli olarak yapılır. Basınç kademeleri yumuşak killerde 15 kPa, sert killerde 50 kPa, yumuşak kayalarda 100 kPa uygulanabilir. Her basınç kademesinde 120 s. beklenir ve 15, 30, 60, 120 s, sürelerde hacim değişimi okumaları alınır. Maksimum basınçların yumuşak /gevşek zeminlerde 2,5 MPa, kayalarda 10 MPa değerine kadar yükseltilmesi gerekli olabilir. Deney sonrasında uygulana basınç /ölçülen hacim değişimleri grafiği çizilir ve presiyometre eğrisi elde edilir. Bu eğrinin teşkili öncesinde presiyometre deney düzeneğinin kalibrasyonu yapılarak basınç ve hacim değişimi okumalarının düzeltilmesi gerekir.

Pressiyometre eğrisinde, eğrinin ilk bölümünde sondanın şişerek delgi çeperine yerleştiği gözlenir. Bu aşamada sonda, delgi sonrasında oluşan ferahlama etkisini yenerek zemin gerilmelerini delgi öncesi konumuna getirir. Bu aşamaya karşıt gelen P_{oh} gerilmesi zemindeki yanal gerilme değerine eşdeğerdir.

Eğride gösterilen P_{oh} basıncından sonra lineer bir davranış izlenir. Eğrinin bu bölümü elastik faz olarak tanımlanır. Bu doğrunun eğimi, $\Delta P / \Delta V$ olarak tanımlanır ve zeminin presiyometre deformasyon modülü E_p 'nin hesaplanmasında kullanılır:

$$E_p = 2(1 + \mu) \cdot V_m \cdot (\Delta P / \Delta V)$$

Bu eşitlikte, μ , poisson oranı, V_m , ölçen hücrenin lineer bölgedeki toplam hacmidir.

Elastik fazdan sonra, plastik faza geçilir. Bu fazın sonunda ise eğri düşeye yaklaşır. Bu noktada zeminin direnci tamamen yenilmiş ve göçme oluşmuştur. Bu basınç değeri, presiyometre limit basıncı P_L olarak tanımlanır.

Yerinde ölçümlerle derlenmiş olan presiyometre verileri kalibrasyon eğrisinden de yararlanılarak,

- Dingin durumda yatay gerilim
- Gevşeme basıncı
- Sınır(Limit) Basıncı belirlenir.

Bu değerler ve ampirik eşitlikler kullanılarak,

- Net sınır (Limit) Basınç
- Elastisite modülü (EP)
- Kohezyonsuz tabakaların içsel sürtünme açıları
- Koheziv zeminlerin drenajsız kayma dayanımları bulunur.

Sınır (Limit) Basınçları : Sınır basınç P_L , kuramsal olarak, deney silindirisinin sınırsız genişmesine karşı gelen basınç olarak tanımlanabilmektedir. Böyle bir genişmeye deney sırasında ulaşamayacağı için sınır basınç, uygulamada zemin oyduğunun ilksel hacminin iki katına ulaştığındaki basınç olarak belirlenir.

$$\text{Net sınır basınç ise : } P_L^* = P_L - \mu_{oh}$$

σ_{oh} dingin durumdaki yanal gerilimdir ve presyometre eğrisinden türetilmektedir.

Pressiyometre Modülü: Zemin kesitinin elastik parametreleri de Pressiyometre eğrisinden türetilmektedir.

Kayma Dayanımı : Drenajsız kayma dayanımı ve içsel sürtünme açısı deney sonuçları ve önerilmiş eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki eşitlik ile drenajsız kayma dayanımı, S_u bulunabilmektedir.

$$S_u = 0,67 \cdot P_L^{0,75} \dots\dots\dots \text{Baguelin et al. (1978)}$$

İnceleme alanında sondajlar sırasında presyometre deneyleri yapılmıştır. Tablo 5.5’de deneyler sonucunda elde edilen veriler görülmektedir. Buna göre inceleme alanında ölçülen net limit basınç değerleri $P_L=1,56-6,56 \text{ kg/cm}^2$, Pressiyometre modülü, $E=25,07-307 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişmektedir. Net sınır basınç değerleri ve presyometre modüllerinin derinlikle belirgin bir değişim gösterdiği anlaşılmaktadır (EgeTemel Sond., 2000).

Tablo 5.5 Pressiyometre deney sonuçları.

| Sondaj no | Derinlik | Litoloji | P_L (kg/cm^2) | E (kg/cm^2) | S_u (kg/cm^2) | \emptyset (°) |
|-----------|----------|----------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------|
| ASK-4 | 1,0 m | CL | 4,50 | 53,03 | 0,80 | |
| ASK-6 | 4,0 m | CL | 2,56 | 25,07 | 0,43 | |
| | 8,0 m | CL | 4,56 | 115,95 | 0,68 | |
| | 14,0 m | CH | 3,56 | 149,06 | 0,53 | |
| | 16,0 m | CH | 6,56 | 307,23 | 1,0 | |
| ASK-9 | 4,0 m | SC | 1,56 | 40,85 | | 25 |
| | 6,0 m | CH | 4,60 | 32,88 | 0,80 | |
| | 8,0 m | CH | 4,53 | 37,22 | 0,81 | |

İnceleme alanında ölçülen:

Net limit basınç değerleri $P_L=1,56-6,56 \text{ kg/cm}^2$,
 Presiyometre modülü, $E= 25,07 - 307 \text{ kg/cm}^2$
 arasında değişmektedir.

Net limit basınç değerleri ve presiyometre modüllerinin derinlikle belirgin bir değişim gösterdiği görülmektedir.

Geosan (1998)'e göre, saha genelindeki belirgin zemin tabakalarının presiyometre deney sonuçları;

Kum tabakalarında:

Net Limit Basınç değerleri $P_L^* =110-395 \text{ kPa}$;
 Presiyometre modülü, $E_m=2,4-5,3 \text{ MPa}$,
 İçsel Sürtünme Açısı $\phi=25^\circ-28^\circ$

Silt ve kil tabakalarında

Net Limit Basınç değerleri $P_L^* =50-640 \text{ kPa}$;
 (Alttaki sert tabakada) $P_L^* =1290-1980 \text{ kPa}$
 Presiyometre modülü, $E_m=1,7-6,8 \text{ MPa}$,
 (Alttaki sert tabakada), $E_m=17,3-19,8 \text{ MPa}$
 Drenejsiz kayma dayanımı $s_u=13-85 \text{ kPa}$
 (Altaki sert tabakada) $s_u=144-199 \text{ kPa}$

olarak idealize edilmiştir.

SPT değerlerinin 25-30 m'lerden daha derinlerde hızla arttığı, presiyometre değerlerinin de buna bağlı olarak hızla arttığı görülmektedir.

5.2 Laboratuvar Deneyleri

Araştırma sondajları sırasında derlenen örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde çok sayıda zemin mekaniği laboratuvar deneyi yapılmıştır (Ek 5) Örnekler üzerinde:

Dane boyu dağılımı

Hidrometre

Birim hacim ağırlığı

Özgül ağırlık

Su içeriği

Kıvam limitleri

Serbest basınç dayanımı

Kayma dayanımı

Konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

Bu deneylerle zeminler sınıflandırmaya tabi tutulmuş, fiziksel, mekanik özellikleri, dayanım ve sıkışma özellikleri belirlenmiştir. Ek 5’de çalışma alanı için yapılan jeoteknik raporlardan derlenmiş laboratuvar deney sonuçları verilmektedir.

Kesit boyunca üst zonlarda gözlenen iri daneli kum tabakalarından alınan örneklere ait elek analizi ve hidrometre deney sonuçlarına göre;

Kum tabakalarının silt içeriği ince kum boyutundaki danelerden oluştuğu belirtilmiştir. Zemin simgesi SM dir.

Siltli ara tabakaların çoğunlukla, (ML) olduğu belirlenmiştir. Esasen, arazide silt ve kum tabakaları birbiriyle geçişlidir ve birbirinden ayırt etmenin güç olduğu anlaşılmaktadır.

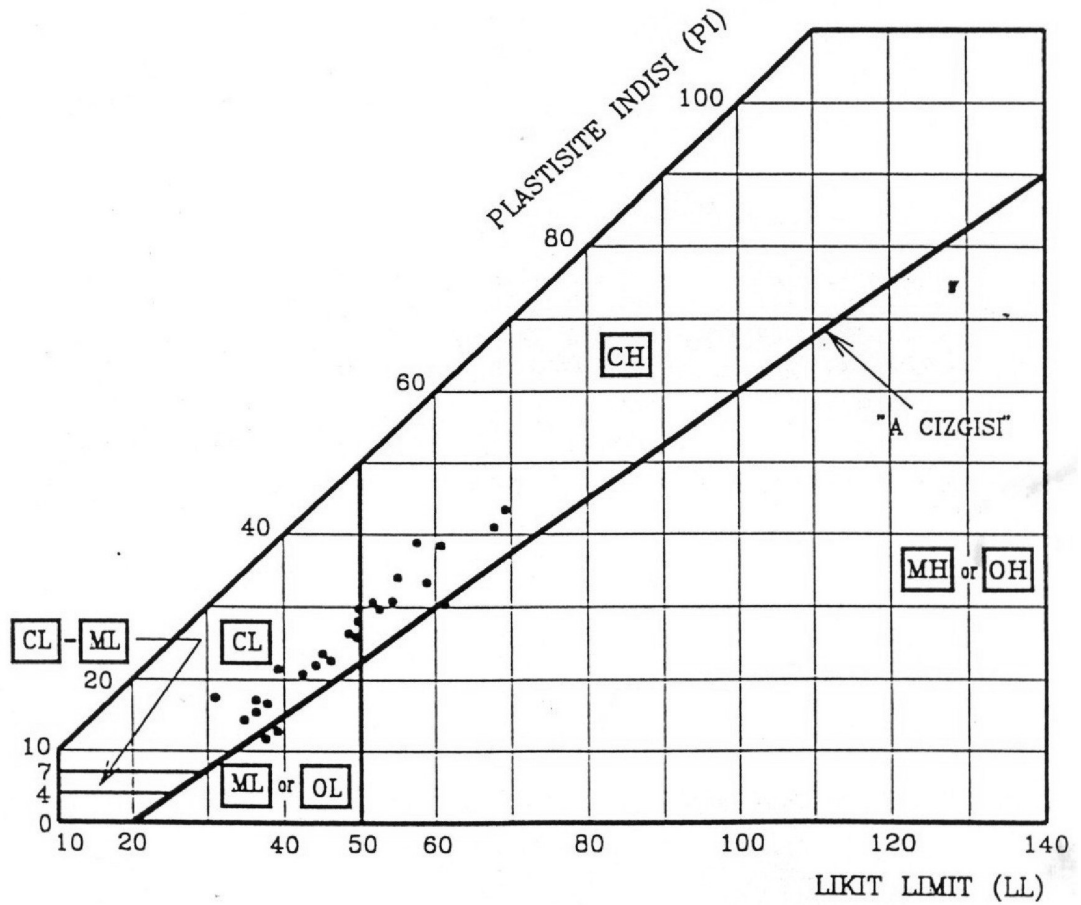
Ek-4’de sunulan Kuyu Loglarında ve kesitlerde kil olarak nitelenmiş tabakalardan alınan örnekler çoğunlukla, CH türü yüksek plastisiteli ve CL türü düşük plastisiteli kil grubuna aittirler (Şekil 5.3).

22 örnekte belirlenen özgül ağırlık değerleri, $G_s=2,541-2,768$ arasında değişmektedir. Hesaplamalarda 2,7 ortalama olarak alınmıştır.

Silt ve kil tabakalarından alınmış örneklerden belirlenen birim hacim ağırlıkları, $\gamma_h=15,94-19,17$ kN/m³ aralığında bulunmuştur. Hesaplamalarda 18 kN/m³ ortalama olarak alınmıştır.

Tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 17-112 kPa aralığındadır. Büyük değerler 20 metreden alınan örneklerde bulunmuştur. Sahadaki oturma sorununun değerlendirilebilmesi amacıyla, 23 örselenmemiş örnek üzerinde konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde bulunan sıkışma indisi değerleri, $C_C=0,140-0,740$ arasında, yeniden sıkışma değerleri, $C_R=0,022-0,130$ arasında, ilksel boşluk oranları, $e_0=0,756-1,883$ arasında; yarı sıkışma zamanı ise $t_{50}=0,70-1,28$ dakika bulunmuştur. Konsolidasyon eğrilerinden, Ön Konsolidasyon Basıncı değerleri $P_C=70-320$ kPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Deneye konu olan örneklerin alındığı derinliklerdeki efektif gerilmeler ise $P_0=50-350$ kPa arasında değiştiği ve ön konsolidasyon değerlerinin, efektif gerilmelerden düşük olduğu belirlenmiştir. Buna göre sığ derinliklerden alınan örnekler için geçerli olan bu değerlere göre, söz konusu kil-silt numunelerinin sıkışma sürecinde olan, yüksek gözenek suyu basıncı içeren zeminler olduğu anlaşılmaktadır.

20,0-25,0 m ve derinliklerdeki zeminlerde yer alan SPT- N_{30} değerleri çok büyük, serbest basınç dayanımı çok daha yüksek zeminlerin sıkışma davranışları, üst kesimdeki yumuşak zeminlere göre konsolidasyon parametrelerine yansıyan farklar göstermektedir.



Şekil 5.3 : Kuyu loglarında ve kesitlerde kil olarak tanımlanmış seviyelerden alınan zemin örneklerinin plastisite kartındaki yerleri.

Derinlerde yeralan kil tabakalarının sıkışma indisi daha düşüktür. ($C_c=0,300$ ve $C_R=0,050$) Ayrıca, t_{90} değerlerinin üst tabakalarinkinden çok daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Durgunoğlu (2001)'e göre zemin koşulları şu şekilde tanımlanmaktadır. "Gerçekleştirilen sondajlarda takriben 2,0 metre kalınlıktaki dolgu zemin altında, genel itibariyle gri-yeşil renkli, kil, siltli kil, siltli kum, killi silt ardalanmasından oluşan alüvyon zemin ile karşılaşmıştır". Aynı çalışmadan zeminlerin karakteristik indeks ve mukavemet parametreleri aşağıdaki şekilde verilebilir (Durgunoğlu, 2001).

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Doğal su içeriği | ω_n (%) =26-53 |
| Likit Limit (PLL) | LL (%) =35-61 |

| | |
|---|--------------------|
| Plastik Limit (PPL) | PL (%) =14-32 |
| Plastisite İndisi (PPI) | PI (%) =16-31 |
| Drenajsız kayma dayanımı (ince daneli zeminler için) | q_u (kPa)=33-104 |
| 0,0-16,0 m derinlikler arası | q_u (kPa) =50 |
| 16,0-40,0 m derinlikler arası | q_u (kPa) =75 |
| İçsel sürtünme açısı (kaba daneli zeminler için) | ϕ' =23-39 |
| 0,0-16,0 m derinlikler arası | ϕ' =33 |
| 16,0-40,0 m derinlikler arası | ϕ' =25 |

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması (USCS): MH, ML, CL, SC, SM

İAOSB zeminlerinin genel indeks ve bazı mukavemet özellikleri sırasıyla Tablo 5.6 ve Tablo5.7'de verilmektedir. İdealize zemin profili veri tabanındaki jeoteknik veriler kullanılarak çıkartılmıştır.

Bölgede yer altı su seviyesi 0,7-2,0 metre arasında değişmekte olup ortalama su seviyesi 1,50 metre'dir.

Tablo 5.6 İAOSB (Çiğli) Zeminleri İndeks Özellikleri (Kuruoğlu, 2006).

| Derinlik (m) | -No.4 (%) | -No200 (%) | w _L (%) | w _P (%) | I _p (%) | w _n (%) | γ _n (kN/m ³) | G _s | (USCS) Zemin Sınıfı |
|-----------------|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|----------------|------------------------|
| 0.0-10.0 | 100 | 57-100 | 44-65 | 18-30 | 21-35 | 20-69 | 18 | 2,70 | CL/CH |
| 10.0-20.0 | 100 | 52-100 | 40-67 | 21-32 | 18-35 | 26-63 | 18 | 2,70 | CH/CL |
| 20.0-30.0 | 100 | 53-100 | 44-59 | 20-27 | 21-33 | 22-55 | 19 | 2,70 | CH/CL |
| 30.0-50.0 | 100 | 55-75 | 50-62 | 23-29 | 26-34 | 41-48 | 19 | 2,70 | CH |
| 50.0-52.0 | 92-100 | 26-47 | | NP | | 19 | 20 | 2,65 | SM |

Tablo: 5.7 AOSB (Çiğli) zeminlerinin mühendislik özellikleri (Kuruoğlu, 2006).

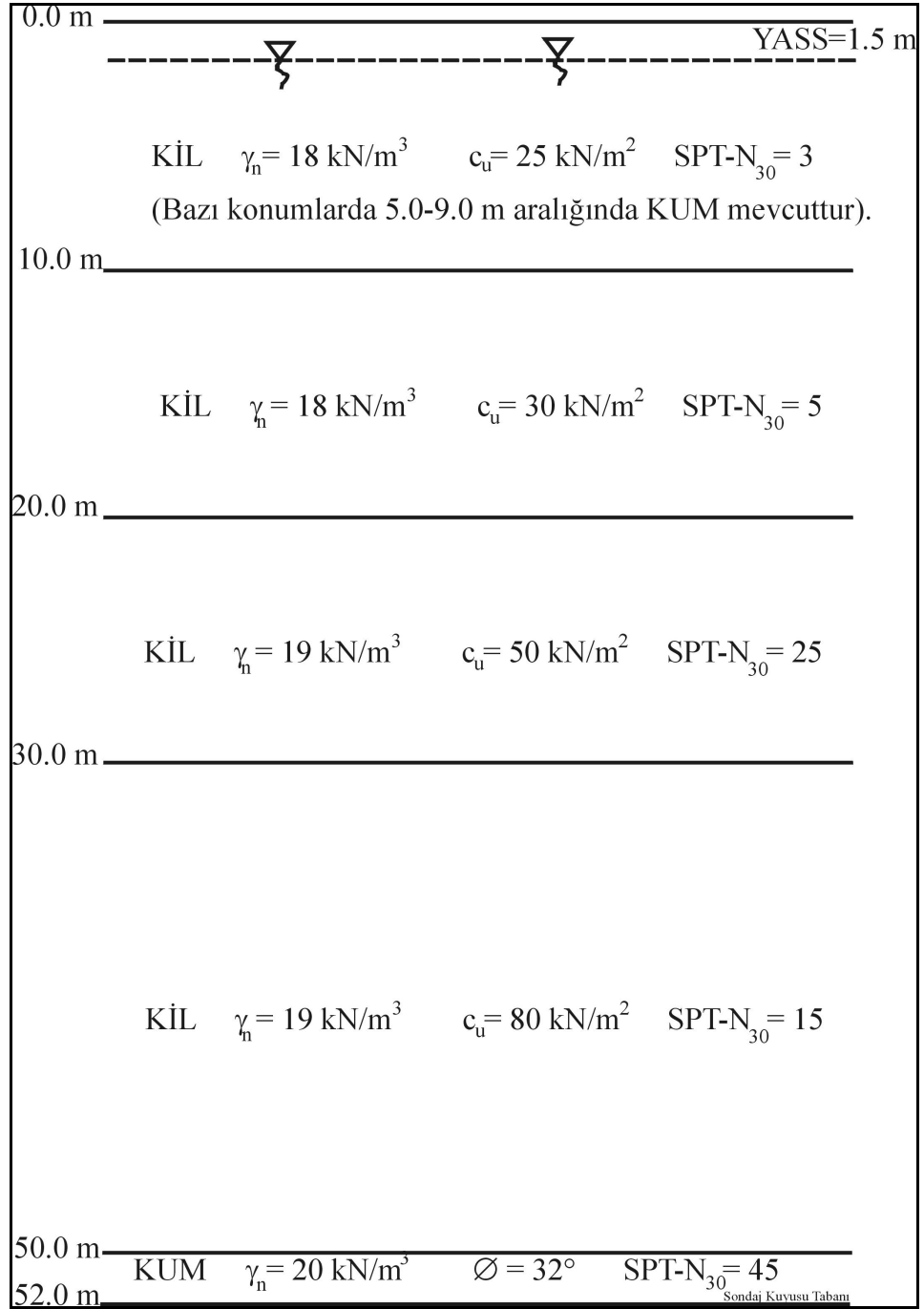
| Derinlik (m) | SPT-N | c _u (kN/m ²) | q _u (kN/m ²) | Ø (°) | USCS Zemin Sınıfı |
|-----------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|----------------------|
| 0.0-10.0 | 2-4 | 10-40 | 40-80 | 28 | CL/CH |
| 10.0-20.0 | 2-8 | 20-40 | 40-100 | 28 | CH/CL |
| 20.0-30.0 | 21-28 | 30-60 | 60-120 | 28 | CH/CL |
| 30.0-50.0 | 7-19 | 50-120 | 100-240 | 30 | CH |
| 50.0-52.0 | 36-37 | - | - | 32 | SM |

AçıklamaCu : Kohezyon (kN/m²)qu : Zeminin tek eksenli sıkışma dayanımı (kN/m²)

Ø : İçsel sürtünme açısı (derece)

5.3 İAOSB idealize kesitler ve zemin parametreleri

Şekil 5.4'de ilgili veri tabanında toplanan jeoteknik veriler kullanılarak oluşturulan; bölgenin (İAOSB) idealize zemin profili aşağıda görülmektedir.



Şekil 5.4:Çiğli Atatürk Organize Sanayi Bölgesi idealize zemin profili.

BÖLÜM ALTI

JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Çalışma alanında; zemin kesitinin fiziksel özelliklerinin yanal ve düşey değişimini belirlemek, yer altı akiferine tuzlu su girişimini tespit etmek, zemin tabakalarının dinamik parametrelerini belirleyebilmek gibi amaçlarla jeofizik çalışmalar yapılmıştır.

Ek 6'da çalışma alanında yapılmış öz direnç ölçü noktaları, görünür öz direnç arazi eğrileri ve öz direnç kesitleri görülmektedir.

Sahadaki zemin kesitinin öz direnç değerleri oldukça düşük öz dirençlerin egemenliğindedir. $d=10$ metre için öz direnç değerlerinin dağılımını gösteren öz direnç haritasında değerlerin çok düşük, 1 ohm ya da altında olduğu görülmektedir. Bu denli düşük değerlerin ancak yüksek elektrolit kapsamı ile tuzlu suya doygunlukla açıklanabileceği belirtilmiştir. Sahanın yeraltı suyu çekimi ile deniz kıyısından içeri ilerleyen tuzlu deniz suyundan etkilendiği ve üst düzeylerdeki kum ara tabakalarının bütünüyle tuzlu suya doyduğu anlaşılmaktadır.

$d=25$ metre derinlik için hazırlanmış öz direnç haritası (Ek 6) incelendiğinde, bu derinlik için öz direnç değerlerinde yer yer (sahanın doğu ve kuzey kenarı çevresi) 20 ohm'a varacak artışlar gözlenmiştir. Bu derinlikte tuzluluğun etkisinin azaldığı, etkisini yitirdiği ve normal silt, kum tabakalarının öz dirençlerinin dağılıma yansıdığı anlaşılmaktadır.

$d=40$ metredeki değerleri gösteren haritada 25 ohm'a varan öz direnç değerleri ile tuzluluğun etkisinin kaybolduğu anlaşılmaktadır.

Dikkat çekilen bir nokta da en çok oturmaların gözlendiği ya da hesaplandığı alanlarda, öz direnç değerlerinin komşu alanlara göre göreceli olarak düşüklüğüdür. Bu durum, fazla oturma görülen yerlerde, kil-silt tabakalarının baskın olduğu bilgisiyle de uyumludur.

Hazırlanan özdirenç kesitleri incelendiğinde, özdirenç ortamının zemin tabakalaşmasından çok tuzlu suya doygunluğu gösterdiği belirtilmiştir. Buna göre; yüzeyde su tablasının üstünde göreceli olarak daha yüksek özdirençli tabakalardan kurulu ince bir zon, altında ise kalın çok düşük özdirençli, tuzlu suya doygun kalın bir kesit ve tabanda ise 4-36 Ohm arasında değişen özdirençli kumlu silt tabakası yer almaktadır.

İAOSB Güneyi Atık Su Hattı Güzergah Etüdü

Ek 7’de ilgili çalışmadan derlenmiş jeofizik çalışma bulguları görülmektedir (DEÜ, 2000).

Bu çalışmada İAOSB güneyinde katı atık taşıyan çelik boru hattı güzergahında, hattın tümünü kapsayacak şekilde özdirenç ve sismik uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Özdirenç çalışmalarında ÖD’lerin araştırma derinliği 20 metre olarak seçilmiştir. Ek 5’de hat boyunca hazırlanan kesit görülmektedir. Kesitte; kil, çok killi silt ve killi siltli kum olmak üzere üç birimin ayırt edildiği görülmektedir. Birimlerin özdirenç sınırlamaları ilgili rapor tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

| | |
|---------------------|-------------|
| Kil | 2-4 ohm-m |
| Çok killi silt | 6-9 ohm-m |
| Az killi siltli kum | 10-15 ohm-m |

Jeofizik çalışmaların diğer aşamasında ise hat boyunca zeminlerin dinamik davranışlarının saptanabilmesi amacıyla sismik kırılma çalışmaları yapılmıştır.

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen analog kayıtlardan P ve S dalgaları için ilk varışlara ait zaman değerleri belirlenmiştir. Bu zaman değerleri kullanılarak zaman-uzaklık değerleri yardımıyla yol-zaman grafikleri oluşturulmuş ve bu grafiklerden de P ve S görünür dalga hızları saptanarak söz konusu hızlar yardımıyla katmanların gerçek hızları ve katman kalınlıkları saptanmıştır.

P dalgaları ortamın geometrisi ile yapısal özelliğini ve S dalgaları ise ortamı oluşturan kayaların mekanik özelliklerini yansıtır. Böylece arazide doğrudan doğruya elde edilen P (boyuna) ve S (enine) sismik dalga hızları (V_S - V_P), tabaka kalınlıkları ve ortamın yoğunluğuna bağlı olarak çalışma alanındaki ortamları oluşturan kayalara ait elastik parametreler (Young modülü, Bulk modülü, Poisson oranı, Kayma modülü) hesaplanır.

Sismik çalışma sonuçları Ek 7’de görülmektedir.

Tariş Zeytinyağı Tesisleri Raporu

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen CPT-statik sondalama etüdüleri kapsamında, CPT-2 deneyi esnasında zeminin jeodinamik modellemesine yönelik toplam 9 adet sismik deney yapılmıştır.

Sismik konik penetrasyon deneyi (S-CPT), yerinde kayma dalgası hızlarının hassas bir şekilde ölçülmesine olanak tanıyan yeni bir yöntemdir. Bu deneyle, zemin profilinin jeoteknik ve jeodinamik parametreleri aynı zamanda ve süratli şekilde ölçülebilmesine olanak tanımaktadır.

S-CPT deneyi boyunca 9 adet sismik test yapılmış (3 metre derinlikten itibaren her 5 metrede bir) kayma ve basınç dalgaları ölçülmüştür. Bulunan bu değerler kullanılarak, zeminin dinamik parametreleri hesaplanmıştır.

Buna göre, zeminin poisson oranı (ν) genel itibariyle 0,45 değerinin üzerinde olarak belirlenmiştir. Buradan zeminin gözenekli yapıda olduğu belirtilmiştir. Kayma modülü 50000 kPa ile 80000 kPa arasında, elastisite (young) modülü ise 150 MPa ile 250 MPa arasında hesaplanmıştır. Bu durumda zeminin gevşek-orta sağlam yapıda olduğu belirlenmiştir.

Basınç dalgası hızının kayma dalgası hızına oranı (V_p/V_s) ise genel olarak 3'ten büyük elde edilmiştir. Bu değere göre granüler özellikteki zeminin sıkı bir zemin olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.1'de S-CPT deneyi sonucunda elde edilen zeminin dinamik parametreleri görülmektedir.

Tablo 6.1. Zemin dinamik parametreleri.

| Derinlik (m) | V_s (m/s) | V_p (m/s) | Yoğunluk kN/m ³ | Poison oranı (ν) | Kayma modülü (G) KPa | Young modülü (E) MPa | Bulk modülü (B) MPa | V_p/v_s | Zemin hakim periyodu T_0 (s) |
|-----------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------|---|
| 3,0 | 206,3 | 294,1 | 18 | 0,016 | 78053,3 | 158,6 | 54,6 | 1,4 | 0,06 |
| 8,0 | 178,8 | 689,7 | 18 | 0,463 | 58659,5 | 171,8 | 794,6 | 3,9 | 0,11 |
| 13,0 | 192,6 | 1048,4 | 18 | 0,482 | 68063,8 | 201,8 | 1926,0 | 5,4 | 0,10 |
| 18,0 | 175,5 | 849,1 | 18 | 0,477 | 56514,2 | 167,0 | 1247,5 | 4,8 | 0,11 |
| 23,0 | 169,6 | 871,2 | 18 | 0,480 | 52747,2 | 156,2 | 1322,3 | 5,1 | 0,12 |
| 28,0 | 176,0 | 782,1 | 18 | 0,473 | 56804,4 | 167,4 | 1046,6 | 4,4 | 0,11 |
| 33,0 | 170,0 | 953,8 | 18 | 0,483 | 52996,3 | 157,3 | 1598,6 | 5,6 | 0,12 |
| 38,0 | 200,3 | 959,6 | 18 | 0,477 | 73614,8 | 217,5 | 1591,4 | 4,8 | 0,76 |
| 43,0 | 208,7 | 930,7 | 18 | 0,473 | 79918,7 | 235,6 | 1482,8 | 4,5 | 0,10 |

BÖLÜM YEDİ

İAOSB'DE GÖZLENEN ALANSAL OTURMALAR

Başlangıçta İAOSB alanında mevcut ve sonradan meydana gelebilecek oturumların (alansal oturumlar) nedenlerinin ve oturma miktarlarının ne olduğunun belirlenmesine yönelik olarak döküman toplanmış ve daha sonra bu dökümanlar incelenerek jeoteknik olarak tekrardan değerlendirilmiştir. İAOSB alanındaki mevcut oturumların,

- a. Deprem yükleri nedeniyle
- b. Üst yapı yükleri nedeniyle
- c. Saha dolguları nedeniyle

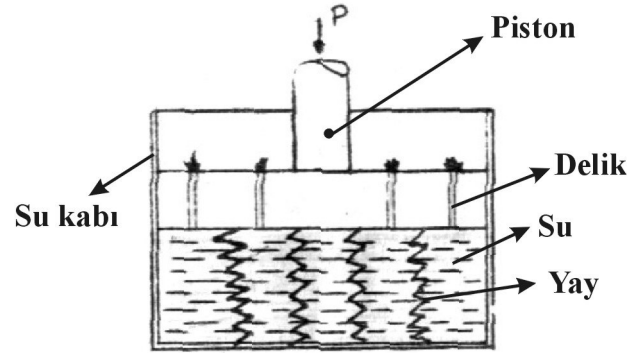
d. Aşırı yer altı suyu çekimine bağlı olarak tabakaların kendi ağırlıklarının artması nedeniyle, olabileceği olasılıkları üzerinde durulmuştur. Bu olasılıkların teke indirgenmesi için araştırmalar yapılmıştır. 100-300 m arasında alüvyon kalınlığına sahip İAOSB alanındaki oturumlar alansal olarak farklılıklar sunmakta, KD'ya doğru gidildikçe (kaya-zemin dokanağına doğru) oturumların da azaldığı incelenen raporlardan anlaşılmaktadır (Geosan, 1998; EgeTemel Sond., 2000). Yukarıda bahsedilen nedenlerle, konsolidasyon teorisinin iyi anlaşılması ve örnekler üzerinde yapılan konsolidasyon deneylerinin ve sonuçlarının değerlendirilmesinin önemi ve zorunluluğu artmaktadır.

7.1 Konsolidasyon Teorisi

Uygulanan bir basınç zemin bünyesinde, efektif gerilme ve boşluk basıncı ile karşılanmaktadır. Zemin içerisinde meydana gelen boşluk basıncı, aynen hidrolik basınç gibi zemin suyunun boşluklarından sızmasına neden olur. Bu sızma sonucu boşluk basıncı azalır ve azalan miktar efektif basınç halinde zemin taneciklerine intikal eder. Efektif basıncın zamanla artması taneciklerin daha da sıkışmasına ve dolayısıyla zeminin oturmasına yol açar. İşte bir zeminin yük altında zamana bağlı olarak oturmasına konsolidasyon denir (Terzaghi, 1923). Efektif gerilme, uygulanan basınç gerilmesine eşit oluncaya kadar konsolidasyon devam eder. Bundan sonra,

boşluklardan bir su sızması olmaz ve zemin oturmaz. Bu anda zemin %100 konsolidasyona erişmiştir.

Konsolidasyon olayı bir modelle açıkça gösterilebilir. Şekil 7.1’de görülen bir piston altına yaylar yerleştirilsin ve su konulsun.



Şekil 7.1 Konsolidasyon Olayının anolojisi (benzetimi)
(Uzuner, 2001’den değiştirilerek).

Piston üzerinde çok ufak delikler açılınsın. Eğer piston üzerine bir ‘P’ yükü tatbik edilirse, ilk anda yük piston altındaki su tarafından taşınır. Ancak, zamanla açılmış olan küçük deliklerden su çıkması durduğu anda uygulanan yükün hepsi yaylar tarafından taşınmaktadır.

Konsolidasyon olayının matematik çözümü önce Terzaghi (1923) tarafından yapılmıştır. Konsolidasyon konusunda anlatılanlardan anlaşılacağı gibi olayda, diğer katı cisimler mekaniğinde bulunmayan, zaman faktörü de rol oynamaktadır.

7.2 Laboratuvar Konsolidasyon Aletleri

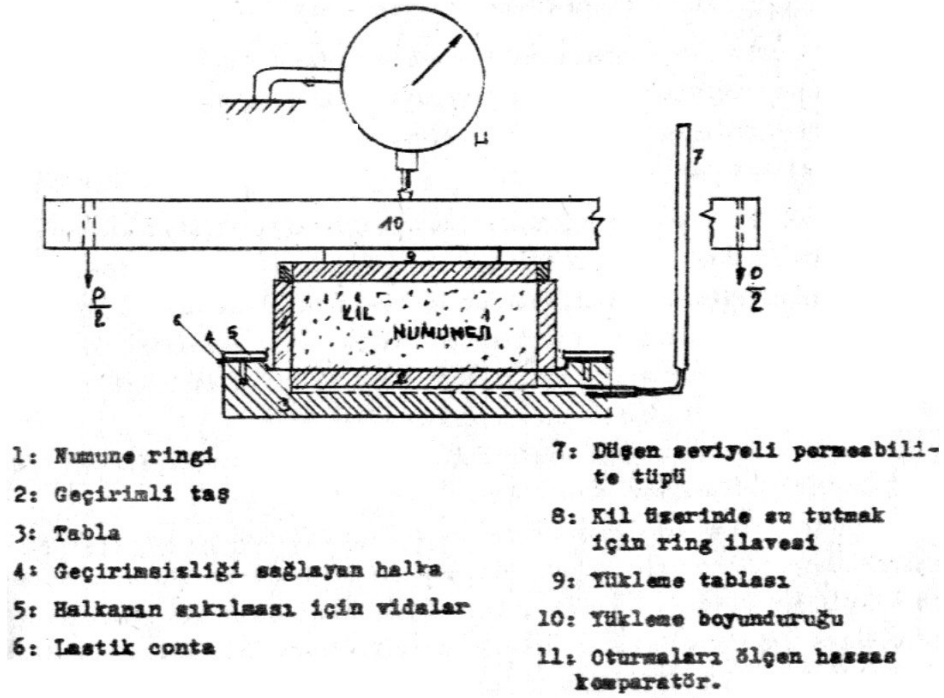
Laboratuvarda konsolidasyon deneyinin yapılması için bir çok alet tipi geliştirilmiştir. Bunların hepsinde prensip aynıdır. Bir kalıp içine yerleştirilen numune suya tam doygun hale getirilir ve üzerine değişik yükler uygulanarak bu yük altında konsolidasyonu sağlanır.

Kullanılan konsolidasyon aletleri başlıca iki gruba ayrılır;

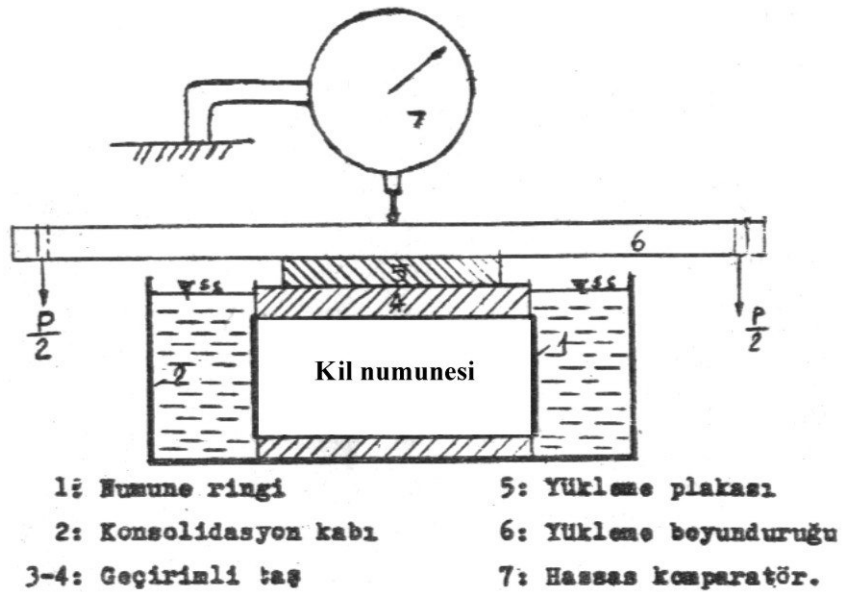
1. Sabit tip konsolidasyon aletleri
2. Yüzen tip konsolidasyon aletleri

Sabit tip konsolidasyon aletleri ‘Casagrande Tipi’ olarakta isimlendirilir. Aletin şeması Şekil 7.2’de görülmektedir.

Bu tip konsolidasyon aletinde numune piriç bir ring içine alınır. Numunenin ring içine alınması çok hassas bir çalışmayı gerektirir. Yerleştirmeden sonra ring tabla içindeki yuvasına oturtulur. Geçirimsizliği sağlamak için ring çevresine lastik conta ve onun da üzerine sırasıyla poröz taş ve yükleme tablası yerleştirilir. Boyunduruk ve komparatör yerleştirilir ve ayarlanır. Numuneye tüpten ve üstünden su verilerek doygun hale gelmesi sağlanır. Boyunduruk vasıtasıyla yük uygulanır. Numune çapı genellikle 6-7.5 cm mertebesindedir. Daha küçük çapta numuneler üzerinde deney yapılmasına imkan veren alet tipleri varsa da numune alınması sırasında bozulmalar olacağından uygun değildir. Şeklin incelenmesinden de anlaşılabilceği gibi; tüp düşen seviyeli permeabilite deneyi için kullanılabilir. Yüzen tipte konsolidasyon aleti sabit tipe nazaran daha basittir (Şekil 7.3).



Şekil 7.2 Sabit tip konsolidasyon aleti (Acatay ve diğ., 1978).



Şekil 7.3 Yüzen tipe konsolidasyon aleti (Acatay ve diğ., 1975).

Bu tip alette numune bir ring içine alınır. Poroz taş üzerine yerleştirilir. Ring numunenin cidar sürtünmesi ile havada durur. Yumuşak killerde cidar sürtünmesi yetersiz kalacağından bu tip aletlerin kullanılması uygun değildir.

Her iki tipte de kil numunesi üzerine gerilme, yükleme boyunduruğu yardımı ile iletilir. Yükleme boyunduruğu genellikle bir manivela sistemine bağlıdır. Manivela ucuna konan sabit ağırlıklı yükler kil numunesi üzerindeki gerilmenin istenen süre sabit kalmasını sağlar. Yükün hidrolik olarak verildiği alet tipleri de varsa da komplike ve kullanılmasında zorluklarla karşılaşılan aletlerdir.

Oturmaların ölçülmesinde kullanılan hassas komparatörler için 1/100 mm'lik hassasiyet yeterlidir.

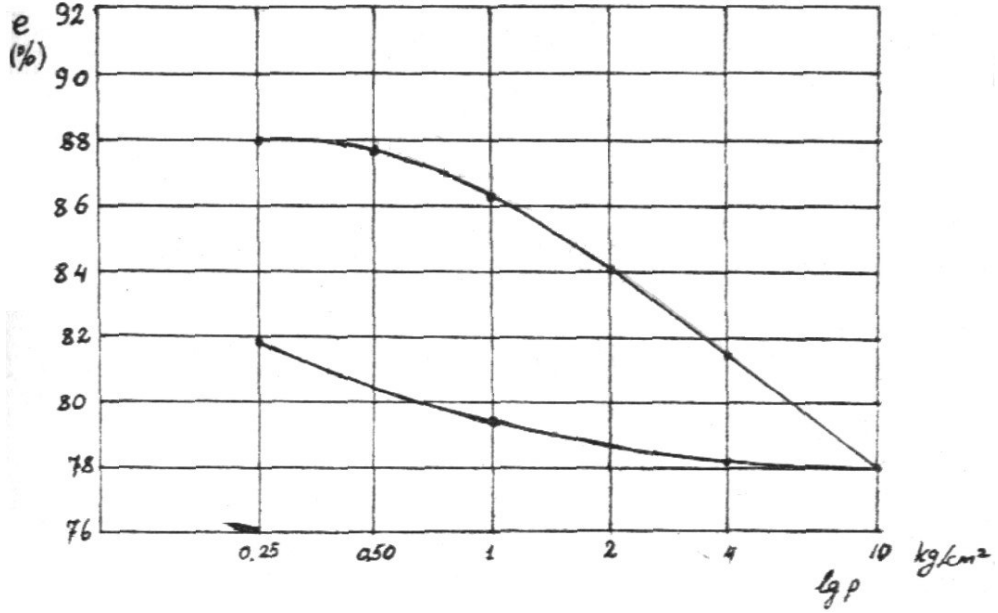
Konsolidasyon deneyi suya tam doymun kil numuneleri üzerinde yapılır. Suya tam doymunluk mühendislik bakımından konsolidasyon deneyinin değerini düşürmez. Çünkü sıkışabilmesinin yüksekliği yüzünden oturmalarda büyük problem oluşturan zeminler suya doymun killerdir.

Kumların statik yükler altında sıkışabilme mertebesi çok düşüktür ve bu tip zeminler üzerinde yapılacak konsolidasyon deneyi güvenilir sonuçlar vermekten uzaktır.

7.3 Konsolidasyon Deneyinin Yapılışı

Konsolidasyon deneyinde, konsolidasyon aletine yerleştirilen numune üzerine belirli aralarla belirli yükler uygulanır. Basınç vermede genel usul her kademede, bir evvelki kademede verilen toplam yük kadar verilmesi şeklindedir. Verilen gerilmeler genellikle 0,25, 0,50, 1, 2, 4, 10 kg/cm²'dir. Uygulanan her gerilme değeri altında en az 24 saat beklenerek numunenin konsolidasyonu sağlanır. Bir yükün uygulamasındaki bekleme süresince numunenin boy kısılması sırasıyla, 15. saniye, 30. saniye, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960, ve 1440 ıncı dakikalarda yapılan okumalarla belirlenir. Bu şekilde 10 kg/cm² basınç altında da tam konsolidasyon sağlandıktan sonra yükler tekrar aynı aralıklarla, fakat bu sefer geriden başa giderek boşaltılır. Bu yükler altında numunenin kabarması sağlanır. Kabarma içinde gene 24 saat beklenir. Böylece yükün boşaltılması tamamlandıktan sonra numune çözülür etüvde kurutulur ve su içeriği belirlenir.

Her yükte konsolidasyon tamamlandıktan sonra (oturmaya erişildikten sonra) o duruma karşılık gelen boşluk oranları hesaplanır ve yükler logaritmik eşelde olmak üzere **e-log P** eğrisi logaritmik eşelde belirlenir. Şekil 7.4'te tipik bir konsolidasyon eğrisi görülmektedir. Deneyin yapılışı sırasında istenirse aradaki yük kademelerinde de yük boşaltılması yapıp tekrar yüklenebilir.



Şekil 7.4 Tipik bir konsolidasyon eğrisi (Acatay ve diğ., 1975).

Etüvde kurutulmuş numunenin ağırlığı W_k ise ve özgül ağırlığı γ_s ise, bu numunede katı dane yüksekliği;

$$h_s = \frac{W_k}{A \cdot \gamma_s} \text{ dir.}$$

'A' konsolidasyon ringinin alanıdır.

Aynı şekilde numunedeki su yüksekliği de belirlenebilir.

$$h_{su} = \frac{W_{su}}{A \cdot \gamma_w}$$

Tam suya doygun bir numune için boşluk oranları aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

Başlangıç numune yüksekliği (ring yüksekliği) : h_b ise; h_b-h_s boşluk yüksekliğini gösterir. O halde deney başlangıcındaki boşluk oranı:

$$e_0 = \frac{h_b - h_s}{h_s}$$

tür. Bundan sonraki birinci aşamada 24 saat beklemeden sonra toplam numune kısalması Δh_1 ise;

$$e_1 = \frac{h_b - h_s - \Delta h_1}{h_s}$$

ve bütün kademeler için genel halde

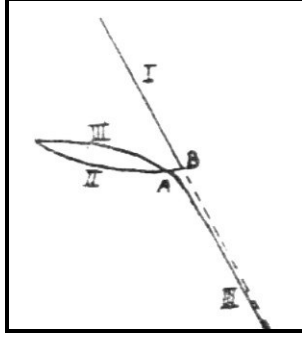
$$e_n = \frac{h_b - h_s - \Delta h_n}{h_s}$$

bağıntısı bulunur. h_n 'inci kademede tam konsolidasyon sağlandıktan sonra başlangıçtan itibaren bütün kademelerde meydana gelen oturmaların toplamıdır.

7.4 Killerin Oturmasında Prekonsolidasyonun Etkisi

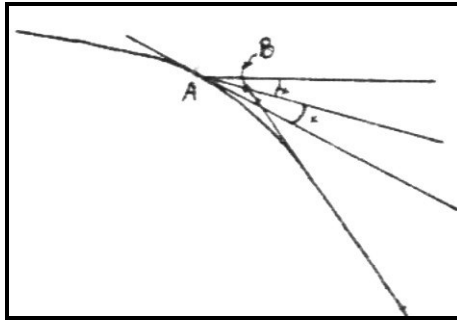
Kil numunesi yoğrulur, su ilave edilerek likit limit kıvamına getirilir ve malzeme üzerinde konsolidasyon deneyi yapılırsa e-logP bir doğru şeklinde çıkar (Şekil 7.5, I doğrusu). Arkasından herhangi bir yük aralığında yükler kademeli olarak boşaltılıp bu andaki kabarmalar kaydedilir (Şekil 7.5, II eğrisi). En küçük yük altında kabarma sağlandıktan sonra tekrar yüklemeler yapılırsa, e-logP eğrisi bu kez doğru halinde olmaz, ancak, 'I' eğrisinin elde edilmesinde kullanılan en yüksek yükten daha yüksek

yüklerde 'I' doğrusuna paralel bir doğru olur. 'III' eğrisinin A kıvrılma noktası 'I' doğrusunun elde edilmişinde uygulanan en yüksek gerilmeye bağlıdır. Doğadaki tabii bozulmamış killer üzerinde yapılan deneyler de aynı özelliği gösterir. e-log P eğrisinin bükülme noktası o kilin jeolojik devirlerde maruz kaldığı en büyük konsolidasyon yüküne bağlıdır. Bu yüke prekonsolidasyon yükü denir.



Şekil 7.5 Kademeli yük boşaltılması ile kabarmaların kaydedilmesi.

Prekonsolidasyon yükü grafik bir çalışma ile belirlenebilir (Şekil 7.6). Bükülme bölgesinin en büyük eğriliğe sahip olduğu A noktası gözle belirlenir. Bu noktadan eğriye bir teğet ve yatay bir doğru çizilir. İki doğrunun açısı ortayı çizilir. Bükülmeden sonraki e-log P eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak çizilen açı ortayla kesiştirilir. Kesişme noktası 'B' ye tekabül eden gerilme prekonsolidasyon yüküdür.



Şekil 7.6 Prekonsolidasyon yükünün tayini (Acatay ve diğ., 1975).

Prekonsolidasyonun nedenleri değişik olabilir. Bunlar başlıca: 1- Jeolojik devirler boyunca herhangi bir yüke maruz kalmış ve bu yük taşıma ile kalkmış olabilir. 2-Zemin bünyesinde buharlaşma negatif bir boşluk basıncı ve dolayısıyla pozitif bir efektif gerilme doğurur. Bu yüzden, sıcak iklimlerde buharlaşma ile killer jeolojik yükün neden olduğu konsolidasyon basıncından daha büyük basınçlara maruz kalır. 3- Kil üzerinde mevcut tabakaların yükü kilin konsolidasyonunu sağlar. 4- Kilin kimyasal yapısı da prekonsolidasyona neden olabilir. Normal konsolide olmuş killerde prekonsolidasyon yükünün 3. nolu nedenle verilen jeolojik yüke, yani numunenin üstündeki tabakaların basıncına eşit olması gerekir. Eğer jeolojik yük daha büyükse, diğer nedenlerden birine maruz kalmıştır. Bu şekilde konsolidasyona maruz kalmış zeminlere aşırı yüklenmiş denir.

Deneyle bulunan prekonsolidasyon yükü zeminin üst tabakalarından intikal eden basınçtan daha az ise; ya malzemenin konsolidasyonu daha henüz tamamlanmamıştır ya da zeminden numune alırken veya deney aletine yerleştirilirken numune bozulmuştur.

7.6 Sıkışma Katsayısı ve Hacimsel Sıkışma Modülü

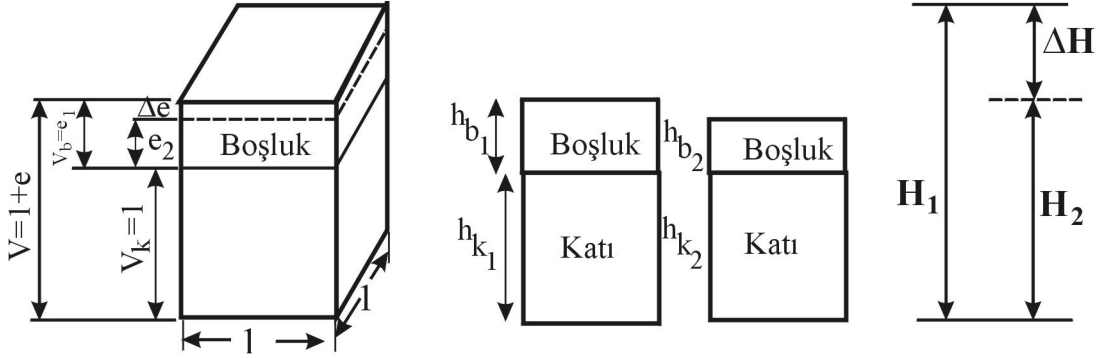
Konsolidasyon deneyinden elde edilmiş e-log P eğrisi üzerinde ardışık P1 ve P2 yükleri arasındaki boşluk oranı kısalması $e_1 - e_2 = \Delta e$ olsun. Bu zemine ait sıkışma katsayısı:

$$a_v = \frac{\Delta e}{P_1 - P_2} = \frac{-\Delta e}{\Delta P}$$

bağıntısı tanımlanır (Özaydın, 1989). 'a_v' katsayısı zeminin belirtilen basınçlar arasındaki sıkışabilme özelliğini gösterir. Yukarıdaki bağıntı incelenirse a_v'nin **e-log P** eğrisinin eğimini gösterdiği kolayca anlaşılabilir.

Sıkışma katsayısı yardımı ile bir kil tabakasının sıkışma miktarı hesaplanabilir. Böyle bir kil tabakanın başlangıç yüksekliği H₁, boşluk yüksekliği hb₁, dane yüksekliği hs olsun. (Şekil 7.7) Yük altında zemin konsolidasyonunu tamamladıktan sonra, bu değer sırasıyla H₂, hb₂ ve hd ise oturma miktarı:

$$S = h_{b_1} - h_{b_2} = \frac{h_{b_1} - h_{b_2}}{h_s + h_{b_1}} \cdot H_1 = \frac{\frac{h_{b_1}}{h_s} - \frac{h_{b_2}}{h_s}}{1 + \frac{h_{b_1}}{h_s}} \cdot H_1 = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H_1 = \frac{\Delta e}{1 + e_1} \cdot H_1$$



Şekil 7.7 Oturma miktarlarının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin gösterimi.

Son bağıntıda delta e yerine yukarıdaki bağıntıdan hesaplanan değer ikame edilirse:

$$S = \frac{a_v}{1 + e_1} \cdot \Delta P \cdot H_1$$

kil tabakasının konsolidasyon yüzünden oturmasını veren bağıntı bulunabilir. E1 malzemenin başlangıcındaki boşluk oranını gösteren sabit bir değer olduğundan

$\frac{a_v}{1 + e_1}$ oranı sabit bir değerdir. Bu oran:

$$M_v = \frac{a_v}{1 + e_1}$$

gibi sabit bir katsayı halinde gösterilir. M_v katsayısına hacimsel sıkışma modülü denir. M_v katsayısı kullanılırsa oturma miktarını veren bağıntı aşağıdaki şekli alır.

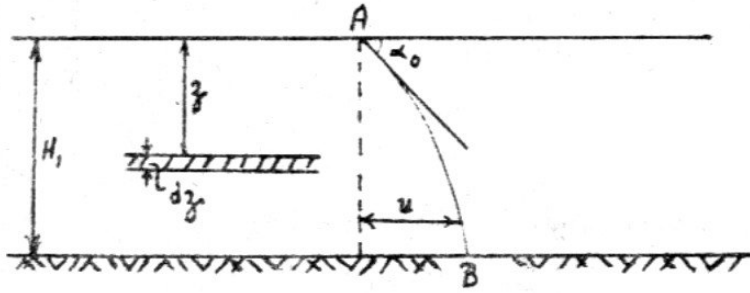
$$S = M_v \cdot \Delta P \cdot H_1 \quad (7.1)$$

Doğada suya doymun ve normal konsolide olmuş yumuşak kil ve siltlerde M_v değerleri 0,01 ile 0,060 cm^2/kg arasındadır. Daha sert kıvamdaki aşırı yüklenmiş zeminlerde ise bu 0,003-0,001 cm^2/kg arasında değişir (Özaydın, 1989).

‘ M_v ’ hacimsel sıkışma modülünün fiziki anlamı ‘Birim kalınlıktaki bir kil tabakasının birim yük farkı altında nihai oturma miktarıdır’ şeklinde ifade edilebilir.

Konsolidasyonda Zamanın Etkisi

Konsolidasyonda zamanın etkisinin incelenmesi konsolidasyon teorisi olarak bilinir.



Şekil 7.8 H_1 kalınlığındaki herhangi bir kil tabakasının incelenmesi (Acatay ve diğ., 1975).

Herhangi bir t anında H_1 kalınlığına sahip bir kil tabakası göz önüne alınsın. Bu kil tabakası altta geçirimsiz üstte de geçirimli tabakalarla kuşatılmış olsun. Kil tabakasının herhangi bir noktasına gelen toplam gerilme “ σ ” ise önceki konulardan hatırlanacağı gibi $\sigma = \bar{\sigma} \pm u$ ’dur. U boşluk suyu basıncı suya doymun bir kilde sadece boşluk suyu tarafından taşınır. Boşluk suyu üzerindeki basınç suyun geçirimli tabakaya doğru hareketine sebep olur.

Kil tabakasının z derinliğinde dz kalınlığında sonsuz küçük bir dilim elemanı düşünelim. Bu elemanın bütün noktalarında gerilme aynı kabul edilebilir. Dz

elemanında t başlangıç anındaki boşluk suyu basıncı 'U' ise 'dt' zaman elemanı içinde bu du kadar bir düşme gösterir.

Suyun süzülmesine neden olan gerekli hidrolik yük $\frac{d_U}{\gamma_w}$ kadardır. Burada γ_w suyun özgül ağırlığıdır. O halde 'dz' kalınlığı için hidrolik eğim

$$I = -\frac{1}{\gamma_w} \cdot \frac{\delta u}{\delta z} \quad (7.2)$$

$\frac{\delta u}{\delta z}$ oranı derinlikle boşluk basıncının değişimini gösteren eğrinin (AB eğrisi) eğiminin tersidir.

(7.2) bağıntısını Darcy yasasında yerine koyarsak

$$v = ki = -\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\delta u}{\delta z} \quad (7.3)$$

dz kalınlığındaki elemanda v hızının değişimi ise

$$\frac{\delta v}{\delta z} = -\frac{k}{\delta z} = -\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \quad \text{olur.} \quad (7.4)$$

$\frac{\delta v}{\delta z}$ birim zamanda birim alandan geçen su miktarının değişimini gösterir. Diğer taraftan dt zaman aralığında ince dilimin oturması (7.1) bağıntısına dayanarak

$$ds = m_v \cdot dp \cdot dz \quad (7.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada dp, dt zaman aralığında efektif gerilmede meydana gelen artımdır. Bu da du ya eşittir burada;

$$\frac{\delta s}{\delta z} = -M_v \cdot \frac{\delta u}{\delta t} \quad (7.5)$$

bulunur. s/z oturmanın derinlikle değişimidir.

Oturma miktarı bünyeden çıkan su miktarına eşit olacağından:

$$\frac{\delta v}{\delta z} = \frac{\delta s}{\delta z} \quad (7.6)$$

bağıntısı elde edilir. (7.4) ve (7.5) bağıntılarının sağ tarafları (7.6) bağıntısına dayanarak eşitlenirse

$$-M_v \cdot \frac{\delta u}{\delta t} = -\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta z^2}$$

buradan

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} \cdot \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \quad (7.7)$$

bulunur. Değerlerin hepsi sabit olduğundan

$$\frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} = c_v \quad (7.8)$$

şeklinde gösterilebilir. Ve (7.7) bağıntısı aşağıdaki son şekli alır.

$$\frac{\delta u}{\delta t} = c_v \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \quad (7.9)$$

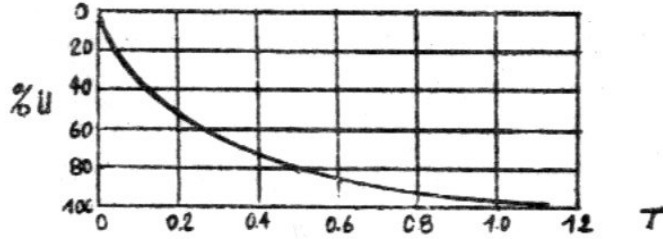
‘ c_v ’ katsayısına ‘konsolidasyon katsayısı’ denir. (7.9) bağıntısı konsolidasyon teorisinin esasını teşkil eden genel diferansiyel denklemdir. Bu denklemin çözümü boyutsuz bir zaman faktörü tarifi ile mümkündür. Zaman faktörü;

$$T = \frac{C_v t}{H^2} \quad (7.10)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada ' c_v ' konsolidasyon katsayısı, ' t ' zaman, ' H ' iki yüzden drenaj imkanı olan tabakada tabaka kalınlığının yarısı, bir yüzden drenaj imkanı olan tabakalarda tabaka kalınlığıdır. H_1 kalınlığındaki tabakanın maruz kaldığı basınç altındaki maksimum oturması, ' S_{max} ' ise herhangi bir t anındaki ' S ' oturmasında konsolidasyon yüzdesi:

$$\%U = \frac{S}{S_{max}} \quad (7.11)$$

oranı ile tanımlanır. ' T ' zaman faktörü ' U ' konsolidasyon yüzdesine ve drenaj şekline bağlı olarak teorik yoldan hesaplanmıştır.



Şekil 7.9 Zaman faktörü-Konsolidasyon oranı bağıntısı
(Acatay ve diğ., 1975).

(7.10) bağıntısı kullanılarak bir zeminin herhangi bir konsolidasyon yüzdesine erişmesi için geçecek zaman hesaplanabilir. Ancak (7.10) bağıntısının değiştirilmiş şekli olan;

$$t = \frac{1}{C_v} H^2 T \quad (7.12)$$

(7.12) bağıntısında H ve T belirlidir. C_v katsayısı deneylerle tayin edilir.

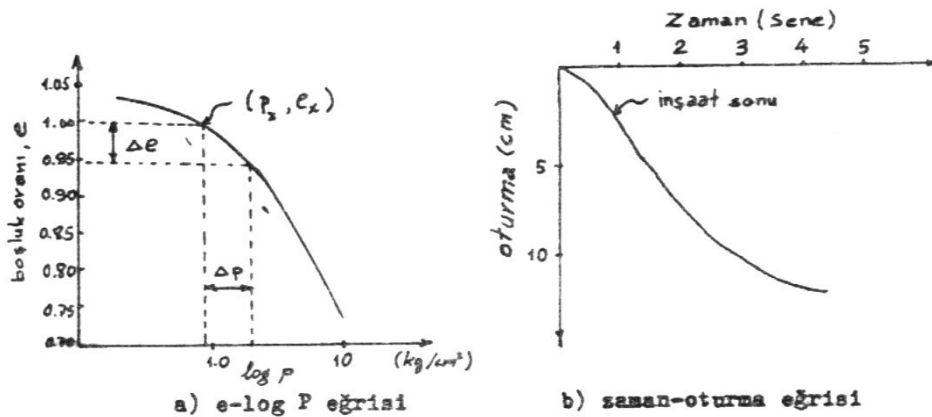
7.5 Oturma Hesapları

Konsolidasyon Oturması Hesapları

Zemin içerisindeki her tabaka için ayrı ayrı ortalama efektif gerilme ve ortalama gerilme artışları hesaplandıktan sonra laboratuvar konsolidasyon deneyinden elde edilen e -log P grafiği kullanılarak oturmaların hesaplanması yapılmıştır. Zemin içerisinde herhangi bir tabakada efektif gerilme dağılımı derinlikle lineer olarak artacağından, ortalama başlangıç efektif gerilmesi olarak tabakanın ortasındaki efektif gerilme P_0 olarak alınabilir. Buna karşılık gerilme artışı lineer olarak artmadığından tabakaları ayrı ayrı parçalara bölerek bunların oturmalarını ayrı ayrı hesapladıktan sonra toplamak gerekir.

Ortalama efektif gerilmeye karşılık gelen ilk boşluk oranı ile gerilme artışından dolayı boşluk oranında meydana gelecek değişimler Şekil 7.11’ de görüleceği gibi e -log P eğrisinden hesaplanır. Eğer gerilmelerin prekonsolidasyon yükünü aşacağı muhakkak ise, boşluk oranı değişimi av sıkışma katsayısı kullanılarak bulunur.

Konsolidasyon oturması daha önce belirtildiği gibi genellikle çok uzun sürede tamamlanabilen yavaş bir olaydır. Toplam oturma miktarının bulunması için her tabakanın oturmalarının toplamı gerekir.



Şekil 7.11 Tipik konsolidasyon eğrileri.

7.6 Oturma Analizleri

İnceleme alanında mevcut ve sonradan oluşması muhtemel yüzey oturmaları ‘deprem yüklerinden kaynaklananlar’ ile ‘statik yükleme koşullarında ortaya çıkanlar’ olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Deprem sonrası oturmaların kohezyonsuz (kum, non-plastik silt ve çakıl) zemin tabakalarında oluştuğu kabul edilir. Statik yükler nedeniyle oluşan oturmalar ise zemin tabakalarında oluşturduğu gerilme artışlarıyla kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminleri etkiler. Statik yükler altında gelişen oturmalar ise; yüzeyden aktarılan üst yapı yükleri, saha dolguları veya aşırı yeraltı suyu çekimi sonucu oluşabilmektedir.

7.6.1 Deprem Yükleri Nedeniyle Gelişebilecek Oturmalar

Deprem sonrası oluşabilecek sıvılaşmaya bağlı oturmalar yörede dikkate alınması gereken bir oturma bileşeni olarak görülmektedir.

Bölüm 8.1’de bu konu incelenmiştir.

7.6.2 Üst Yapı ve Saha Dolguları Nedeniyle Gelişen Oturmalar

Üst yapı yükleri ve saha dolguları nedeniyle oluşan gerilme artışları, efektif gerilmelerin yükselmesine yol açmakta ve zemin tabakaları sıkışmaktadır. Bu türlü statik koşullar altında kohezyonlu zeminlerin sıkışması (yumuşak-orta kıvamlı silt ve killer) önem kazanmaktadır. Kohezyonsuz zeminler ise ani sıkışmaya uğramaktadır.

İAOSB ve yakın çevresinde yüzeyden 20 metre derinliğe kadar yüksek sıkışma potansiyeline sahip kohezyonlu tabakalar vardır.

Üst Yapı Yükleri

İAOSB bölgesinde 2 katı aşan kat adedine sahip yapı sayısı son derece azdır. Yapılardan zemine aktarılan düşey üniform yüklerin ortalama olarak $q_v=50\text{kPa}$ dolaylarında olduğu tahmin edilmiştir.

Bostanlı ve Mavişehir yöresinde ise sırasıyla orta katlı (4-6 kat) ve yüksek katlı (15 kat ve üzeri) yapılaşmalar mevcuttur. Bostanlı yöresinde izin verilen oturma değerleri aşıldığı için stabilitesi ve ekonomik ömrü azalan bir çok yapı mevcuttur. Bu bölgede farklı oturmadaan ötürü yan yatmış binalar yer almaktadır (Şekil 7.12). Bu yapılarda değişen oranlarda farklı oturmaya bağlı çatlaklar ve rijit dönme sonucu ortaya çıkan kullanım zorlukları (doğrama ve menteşelerde sıkışmalar, döşemelerde tesviye zorunluluğu) tespit edilmiştir.



Şekil 7.12 Bostanlı (İzmir) mahallesinde binalarda gözlenen oturma tipi deformasyon.

Mavişehir bölgesindeki yüksek katlı yapılarda da oturma problemi olduğu, yapı yüksekliği boyunca diagonal çatlakların bulunduğu, kapı doğramalarında ve asansörlerde sıkışma-sürtünmelerin mevcut olduğu bilinmektedir. Bu yapıların da kazıklı temeller ile inşa edilmiş olmalarına karşın oturma problemlerinin tam olarak bertaraf edilemediği anlaşılmaktadır. Bazı binalarda temeli oluşturan radyenin kırılmış olabileceğine işaret eden veriler de vardır.

7.6.3.Saha Dolguları

Saha dolguları, inceleme alanı ve yakın yöresinde yaygın olarak yapılmıştır. Bu tür, geniş bir alanda uygulanan saha dolguları, oturmalar açısından önemli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu durumda, yüzeyde oluşan sürsarj gerilmesi derinlikle azalmayıp, derinlik boyunca zeminleri etkilemektedir (Erol, 2002).

Mavişehir ile Çiğli Kipa arasında yapılan sınırlı sayıdaki kot okumalarında Mavişehir ve Çiğli Kipa arasında 25 cm mertebesinde farklar olduğu görülmektedir.

Ortalama 4 t/m² yüzey sürsarj gerilmesi oluşturan dolgunun 100 cm'den az olmayan yüzey oturmalarına neden olacağı hesaplanmıştır (Radius Projesi, 1999). Bu oturmalar, temellerde toplam ve farklı oturmalara, kazıklı temellerde ise negatif çevre sürtünmesine neden olabilecektir.

7.7 İAOSB'de Gözlenen Alansal Oturmaların Değerlendirilmesi

7.7.1 Sorunun Geçmişi ve Gelişimi

Bölgede karşılaşılan en önemli zemin kaynaklı sorun, alansal zemin oturmalarıdır. 1997 yılının ikinci yarısında yer alan şiddetli iki yağmur yağışı sonrasında oldukça geniş alanlarda su baskını yaşanmıştır. Su baskının nedenleri incelenirken yağmur suyu deşarj sisteminin kotlarında 2,00 metreye varan düşey yer değiştirmeler belirlenmiştir. Bununla birlikte aynı dönemde bazı tesislerin üst yapılarında, yolların kaplama ve bordürlerinde hasarlar tespit edilmiş, 1998 yılından itibaren bu sorun İAOSB sahasının bütününe ilgilendiren ve giderek şiddetlenen bir sorun olarak gündeme alınmıştır.

Bölgede yapılarda, zeminde ve tesisatta gözlenen hasarların dağılımı Ek 8'deki harita üzerinde görülmektedir. Yapılarda-zeminde ve tesisatlarda gözlenen hasarların etki dağılımını gösteren kontur haritası hazırlanmıştır (Ek-8). Kuzeyde ve güneyde olmak üzere iki ayrı bölgede hasarlarda yoğunlaşmaların olduğu belirlenmiştir.

Bölgedeki alansal oturmalar ile ilgili zemin sorununun mühendislik açısından değerlendirilebilmesi; aşağıdaki sorulara cevap verilebilmesiyle mümkün olacaktır.

- Gözlenen oturmaların nedenleri nelerdir?
- Oturmalar bundan sonra da sürer mi? Sürerse; ne kadar süre ve nicelikte olur?
- Oturmaların görüldüğü alanlar genişler mi? Etkilenmemiş kısımlar etkilenir mi?
- Oturma süreci durdurulabilir mi? Oturmalar geri çevrilebilir mi?
- Alınabilecek önlemler nelerdir?

7.7.2 Karşılaılan Oturmaların Nedenleri Nelerdir?

İAOSB arazisinde zemin oturmaları sorun olarak 1997-1998 yıllarında sezilmeye, tartışılmaya başlamıştır. Yaşanan şiddetli yağışlar sonrasında sahanın belirli bölgelerinde (özellikle sahanın güneydoğusunda) sellenmeler, su baskınları görülmüş, fabrika bahçelerine, tesislerin ilk katlarına su girmesi büyük sorun yaratmıştır. Bunun yanında, yolların beton-asfalt kaplamalarında zaman zaman patlama biçimli gürültülü yenilmeler olmaya ve enine kabarma ve yarılmalar şeklinde tanımlanabilen sorunlar ortaya çıkmaya başladığı sözlü görüşmelerden anlaşılmıştır. Yollarda gözlenen başka bir hasar da, kaldırım kaplamalarının yola doğru ötelenmesi ve bordürlerin bu yönde devrilmesidir. Ayrıca, sahanın bazı kesimlerindeki tesis ve yapılarda da hasarlar gözlenmiştir. Bölgedeki pek çok tesiste; zeminlerde çökme, duvarlarda ve kirişlerde çatlamlar, fayans düşmeleri, su baskınları, atık su tesisatlarında bozulmalar, dilatasyon açılmaları gibi önemli hasarlar gözlenmiştir. Bölgenin deşarj sistemi incelendiğinde; ölçülen kot değerleriyle proje değerleri birbirini tutmamakta ve ölçülen kotlar projedekilere göre daha düşük olduğu görülmüştür (1/1000 ölçekli haritalar üzerine işlenmiş kot okumalarından bu bilgilere erişilmiştir).

Düşey yer değiştirmelerin tüm bölge kapsamında net olarak görülebilmesi, genlik ve dağılımının belirlenebilmesi için bir ölçü ağı tasarlanmış; 1998 Mart-Mayıs aylarında iki dizi ölçü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, sahanın belirli bölgelerinde

maksimum 2,0 metreye yaklaşan oturma değerleri tespit edilmiştir. Oturmalar, sahanın sınır kesimlerinde alüvyon-kaya dokanağına doğru azalmakta, sıfır değerine doğru yaklaşmaktadır. Bölgesel ölçekte oturmanın çok az olduğu ya da gözlenmediği alanlar da tespit edilmiştir (Şekil 7.16).

Zeminler yük altında kaldığında büzülme sıkışma eğilimine girerler. Zeminlerin bu yük altında göstermiş olduğu şekil değiştirmelerine oturma ya da konsolidasyon denmektedir (Craig,1992). Sahadaki geniş alanlar boyunca gözlenen oturmalar, zeminlerin bir şekilde yük altında kalmasıyla ve/veya zemin tabakalarının ağırlığının artmasıyla oluşmuştur.

Oturmaların nedeni; bu yük ya da yüklerin tespitiyle mümkün olabilecektir. Zeminlerin oturması ani ve konsolidasyon oturması olarak ikiye ayrılmaktadır. Kum, çakıl türü taneli (granüler) zeminler yük altında kaldıklarında permeabilitelerinin yüksekliği nedeniyle içerdikleri suyu hızla dışarı kaçırabildiklerinden hacimsel olarak hemen sıkışmaktadır. Buna ani oturma denmektedir. Kil, silt gibi ince daneli zeminlerde ise geçirimsizlik değerinin düşük olması nedeniyle hacimsel sıkışma yani konsolidasyon yavaş gerçekleşmektedir. Oturmanın sürmesi yıllar bazında gerçekleşmektedir (Craig, 1992). Sıkışmaya neden olan kuvvetler çeşitli kaynaklardan gelebilmektedir. Bu kuvvetler;

1. Jeolojik tabakaların kendi yükleri altında sıkışmasıdır. Tabakalar, üstteki tabakaların belirli bir yük uygulamasıyla sıkışmaktadırlar.

Bölgede görülen oturmaların jeolojik tabakaların kendi yükünden kaynaklandığını ileri sürmek mümkün görünmemektedir. Bölgede yapılaşmanın başlamasından önce de konsolidasyon sürecinin jeolojik tabakaların kendi yükleriyle de başlamış olduğu bir gerçektir. Fakat, bu şekilde gerçekleşen sürecin bu kadar kısa zamanda, üstelik saha da farklı alanlarda önemli farklar sunacak şekilde gerçekleşmiş olması beklenemez.

2. Zemin tabakalarının üst yapı yüklerinin etkisiyle oturma sürecine girdiği söylenebilir. Bölgede düzenli olmakla birlikte, tek katlı bir yapılaşma vardır. Bunun zemine getirebileceği yükün mertebesi $q_v < 50$ kPa ($0,20-0,50$ kg/cm²) mertebesinde olduğu varsayılmıştır. Bu yükler ise temel genişlikleriyle orantılı dar alanlarda zemine aktarıldığından derinlerdeki zemin tabakalarında bir konsolidasyona neden olamazlar.

3. Zeminlerin oturmasına neden olabilecek bir diğer etken ise zemin tabakalarındaki yeraltı su seviyesinin düşmesi ya da bölgede gözlemlendiği gibi derin akiferin piezometrik su seviyesinin düşmesidir.

Zeminin herhangi bir noktasındaki toplam gerilim, buraya etkiyen suyun piezometrik basıncı kadar eksik gerçekleşir. Bu şartlarda efektif gerilmelerin geçerli olduğu σ' kabul edilmektedir ($\sigma' = \sigma - u$).

Su seviyesinin bir şekilde düşürülmesiyle efektif gerilmeler, toplam gerilmelere yaklaşarak büyür. Zemin tabakalarının ağırlığının artmasına bağlı olarak efektif birim hacim ağırlığı söz konusu olur. Oluşan ek yük zeminlerin konsolidasyon sürecini hızlandırır. İnceleme alanındaki çok genç ve kalın killi siltli zeminler vardır. (Konsolidasyon deneylerinde (Geosan, 1998) zeminlerin önkonsolidasyon basıncı değerleriyle örneğin alındığı derinlikteki efektif gerilmeler kıyaslandığında; efektif gerilmelerin çok daha yüksek mertebede olduğu görülmüştür) (Ek-5).

Sıkışabilir zemin tabakalarında fazla gözenek suyu basıncının olduğu ve zeminlerde konsolidasyon koşullarının geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Sanayi alanındaki bölgesel oturmaları açıklayabilecek tek önemli neden, sahada uzun süredir devam etmiş olan aşırı yeraltı suyu çekimleri sonucunda derin akiferin piezometrik su seviyesinin hızla düşmesi ve bu şekilde sıkışabilir zemin tabakalarındaki efektif gerilmelerin artmış olduğu anlaşılmaktadır ('U' sifıra yaklaşırken $\sigma \cong \sigma'$ gerçekleşir).

Sanayi bölgesinde yeraltı suyu temin amaçlı pek çok kuyu günümüzde çalışır haldedir. 1988 yılından itibaren sellenmelerin gözlemlendiği 1997 yılına dek 128 den

çok su üretim amaçlı sondaj kuyusunun açıldığı bilinmektedir. Yapılan aşırı tüketim ve yeraltısuyu çekimi derin akiferin piezometrik su seviyesini 1988'de 5 m; 1997-1998 itibariyle kırk metrelere indirmiştir (Geosan, 1998).

Sahada piezometrik su seviyesinin 20 metre ya da yer yer 35 metreye kadar düşmesi, toplam gerilmelerin ortalama 300 kPa civarında arttığını göstermektedir. Başlangıçta; $\sigma' = \sigma - u$ iken (γ) piezometrik su seviyesinin 20-35 metre kadar düşmesi sonucu; $\sigma = \sigma'$ oluyor (Toplam gerilme, efektif gerilmeye eşit oluyor). Bu durum, zemin tabakalarının ağırlığının artmasına neden olmaktadır.

7.8 Konsolidasyon Modelinin Geliştirilmesi

7.8.1 *dealize Kesit*

Su sondajlarından derlenen zemin profillerine ait veriler ışığında (Ek-3) idealize bir zemin kesitini sunmak; konsolidasyon modelini oluşturmak ve gerçekleşen oturmaların hesaplanabilmesi açısından gereklidir. Sahanın genel hatlarıyla derinlik boyunca belli başlı tabakaları ve genel istifini oluşturmak için elde olunan veriler aşağıdadır;

- İnceleme alanı kalın bir alüvyon tabakasından oluşmaktadır. Alüvyon istifinin kalınlığı 140-320 m arasında değişmektedir.

- Alüvyon tabakası genel olarak iki farklı birime ayrılmıştır. Saha içinde değişen kalınlıklarda olmakla birlikte ortalama 60 metrelik bir sıkışabilen zemin tabakası ve altında, çakıl, kum ve killi çakıllı tabakalar vardır. 60 metreden derinlerde basınçlı akiferin varlığı bilinmektedir (Ek-3 ve Şekil 7.13).

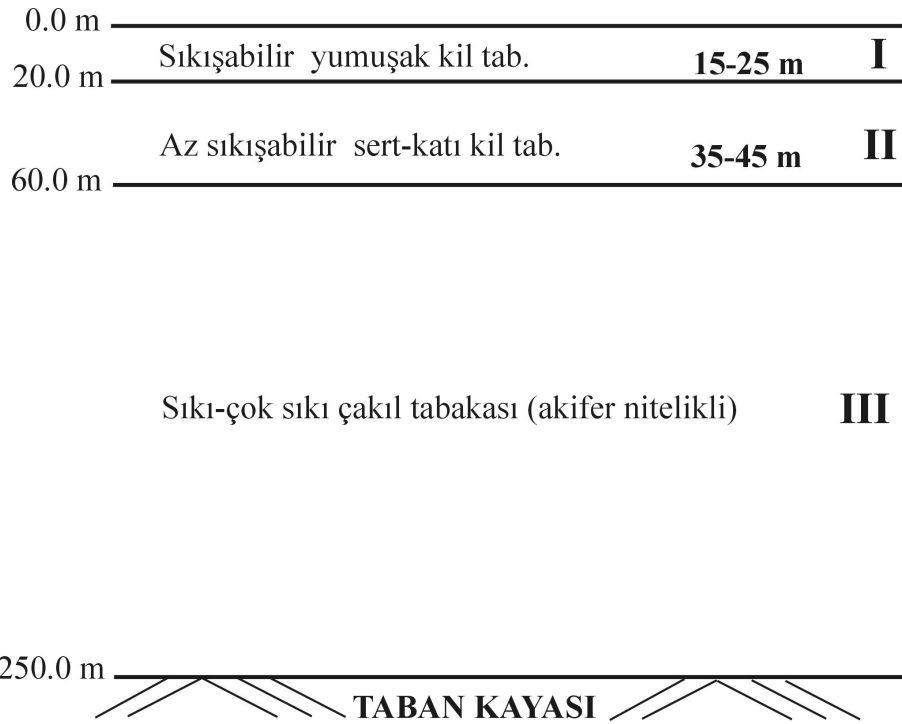
- Üsteki sıkışabilir tabakanın kalınlığı sahanın farklı kesimlerinde farklı kalınlıklar sunmakla birlikte ortalama 60 metrelik bir zemin tabakası vardır.

- İlk 60 metrelik kesit iki ayrı katman halinde ele alınmıştır.

İlk 20-30 metrelerden sonra zemin araştırma sondajlarında arazi deney verilerinde (SPT ve presiyometre) birkaç katlık bir sıçrama olmaktadır (Ek 5).

Üst kesimde kayma dayanımı düşük sıkışabilir kil-silt tabakaları ince taneli kumlarla beraber görülmekteyken; ortalama 20 metreden sonra konsolidasyonu ilerlemiş, kayma dayanımı yüksek sert ve yüksek dayanımlı killerden oluşmuş bir tabaka ayırt edilmiştir (Şekil 7.13).

Şekil 7.13'de tüm saha için genelleştirilmiş, konsolidasyon modeline temel teşkil edecek idealize zemin kesiti görülmektedir.



Şekil 7.13 AOSB'de konsolidasyon modeli için idealize zemin tabakaları.

Yukarıda şekilde verilen idealize kesitte (tüm sahayı karakterize edecek şekilde) görüldüğü üzere, tüm saha boyunca, tipik zemin kalınlıkları:

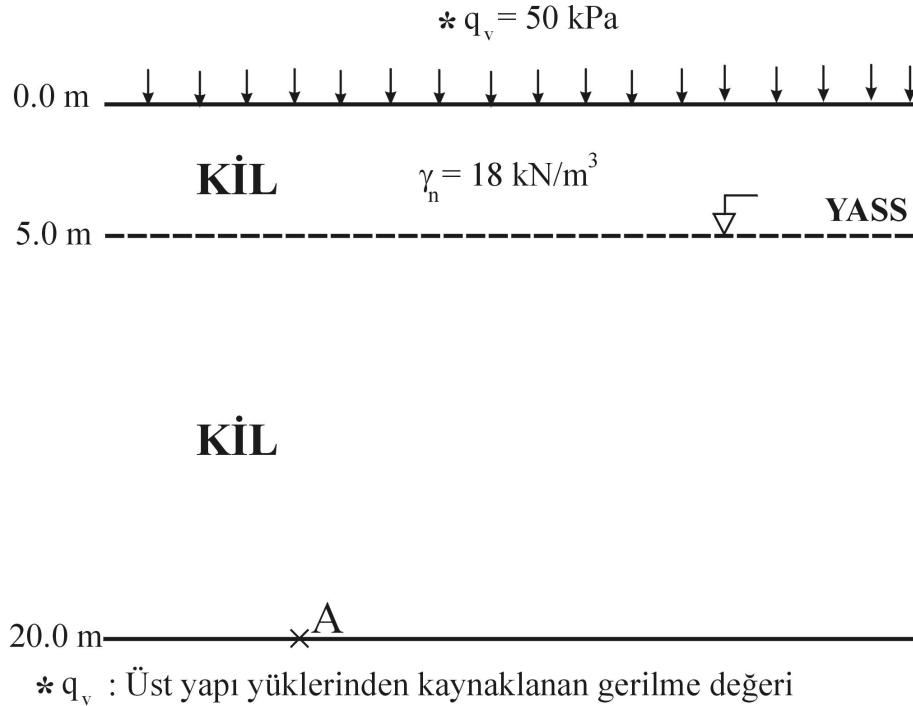
- sıkışabilir kil-silt tabakası : 15-30 metre
- az sıkışabilir, sert kil tabakası : 35-45 metre

çok sıkı çakıl tabakası : 150-200 metre kadar olmaktadır.

7.8.2 Alansal oturmalara Neden Olan Gerilme Artışlarının Hesaplanması

Bölgede oturmaların hesaplanabilmesi için derin akiferin piezometrik su seviyesinin düşmesiyle zemin tabakalarının belli bir noktasında oluşan yük artışı değeri σ_P 'nin hesaplanması gerekmektedir.

Örnek olarak, sahada 20 metrelik homojen sıkışabilir bir kil tabakasında Şekil 7.14'de görülen A noktasındaki gerilme artışının hesaplanması aşağıdaki gibidir:



Şekil 7.14 20 m kalınlıklı zemin tabakasında toplam ve efektif gerilmeler.

A noktasındaki ilksel gerilme: (Piezometrik su seviyesi 5 m'de iken ve A-noktası 20'nci metrede)

$$\sigma_A = (18 \cdot 5) + (18 - 10) \cdot 15 = 210 \text{ kPa (A- noktası 20'ci metrede)}$$

Piezometrik Su seviyesinin tabakanın altına inmesiyle (A. noktası 20 metrede)

$$\sigma'_A = 18 \cdot 20 + 50 = 410 \text{ kPa (kN/m}^2\text{)}$$

$\Delta \sigma'_A = 200 \text{ kPa}$ 'lık gerilme artışı sıkışabilir killi tabakaların konsolidasyon sürecine neden olmaktadır.

Sahada oturmaların hesaplanmasında kullanılacak gerilme artışları yukarıda anlatıldığı şekilde bulunacaktır.

Şekil 7.15'de arazideki ideal bir zemin kesiti üzerinde ilksel ve su düzeyleri düştükten sonraki derinlik boyunca etkili olan gerilme artışları gösterilmiştir.

olmadığının varsayıldığı gerilme durumu olarak tanımlanabilir); b-çizgisi, yer altı su seviyesi (yüzdürücü) 5 metrede iken efektif gerilmeleri; c-çizgisi 1997 yılı itibariyle 35 metredeyken efektif gerilmeleri ve d- çizgisi ise üst yapılaşmadan kaynaklanan 50 kpa lık bir ilave yükün neticesinde oluşan son durumu gösterir.

$$\text{a-çizgisi için ; } (5 \times 18) + 50 = 90 + 50 = 140 \text{ kPa} = \sigma_A$$

Tabakaların ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 alınmıştır.

B-noktasında (Şekil 7.15'te görüldüğü gibi) $\square P = 250 \text{ kPa}$ lık bir gerilme artış söz konusudur.

25 metredeki bu gerilme artışı hesaplanırsa;

Su seviyesi 5 metredeyken B-noktasındaki gerilme:

$$\sigma_B = (18 \cdot 5) + (18 - 10) \cdot 20 = 250 \text{ kPa}$$

$$90 + 160 = 250 \text{ kPa (B-noktası)}$$

Su seviyesi 25 metrede iken:

$$\sigma'_B = (18 \cdot 5) + (18 - 10) \cdot 20 = 500 \text{ kPa}$$

$$25 \times 18 + 50 = 500 \text{ kPa (B'-noktası)}$$

250 kPa lık bir ilave gerilme artışı etkisi elde edilir.

Su seviyesinin 5.0 ve 25.0 metre seviyelerinde olması durumunda 250 kPa'lık ilave bir gerilme artışı olmaktadır.

7.9 Nihai Oturmaların Hesaplanması

7.9.1 Oturmaların Hesaplanmasında Yapılan Kabuller

Zemin kesitinde ortalama ilk 60 metrelik kesimin sıkışabilir ince kum ara katkılı kil-silt tabakalarından meydana geldiği ve 60 metreden sonra ise sert zemin özelliğine sahip derin akiferi barındıran çakıllı kil-çakıl-kum tabakaların yer aldığı Şekil 7.13'den anlaşılmaktadır.

İlk 60 metrelik zemin profili boyunca, zeminler sıkışabilir-sıkışmış özellikler göstermektedir. Yapılan SPT ve pressiometre deneylerinde ilk 60 metrelik kesiti iki ana kısımda değerlendirebilecek önemli farklar gözlemlendiği belirtilmiştir. Alt tabakanın pressiometre net limit basıncı, elastisite modülü, serbest basınç direnci üst tabaka değerlerine göre birkaç kat fazla bulunmuştur. Diğer yandan, SPT değerlerinde iki farklı birim arasında ani bir sıçrama olduğu da önceden belirtilmişti.

1. Kabul : Alttaki zemin tabakalarında önemli mertebede bir oturma olmayacağı kabulü yapılmıştır.

Güvenli tarafta kalmak için ise üst kesimdeki sıkışabilir zeminlerin hesaplanan oturma değerleri %20 oranında arttırılmıştır.

2. Kabul : Zemin kesitindeki ince taneli zeminlerin oranı (sıkışabilir üst zon boyunca) hesap edilmiş ve her bir asalan için ince daneli zeminlerin (kil-silt) oranı tespit edilmiştir (Ek-11).

Hesaplamalarda oturma değerlerinde bu oran kadar azaltılmaya gidilmiştir

3. Kabul : Sanayi alanında tüm saha boyunca düzenli olmayan ve tek katlı olarak kabul edilebilecek bir yapılaşma mevcuttur. Yapılaşmanın oturmalara etkisi zemin tabakalarına getirdiği ilave yük göz önüne alındığında ve piyezometrik düşümlerden kaynaklı ilave yüklerle karşılaştırıldığında oldukça düşük mertebelerde kalmaktadır

(5/50=1/10 mertebesinde). Bununla birlikte tüm saha boyunca bir örnek teşkil edecek biçimde, yapılaşmalardan kaynaklı ek yük artışı 50 kPa alınmıştır.

4. Kabul: Oturma hesaplamalarında gerekli olacak zemin sıkıştırma parametreleri önceden yapılmış araştırmalarda verilen değerlere sadık kalınarak kullanılmıştır (Geosan, 1998).

Şekil 7.16’da görüldüğü gibi saha gridlenerek as alanlara ayrılmıştır.

Her bir asalanda sıkışabilir zemin tabaka kalınlıkları, bunun yanında kesit boyunca karşılaşılan ince taneli zeminin tüm sıkışabilir zemin tabaka kalınlığına oranı, az sıkışabilir sert kil birimleri, güncel piyezometrik su düzeyleri farklı olmaktadır.

Sanayi alanındaki farklı oturmaların nedenlerinin yukarıda açıklanan farklılıklardan olduğu anlaşılmaktadır.

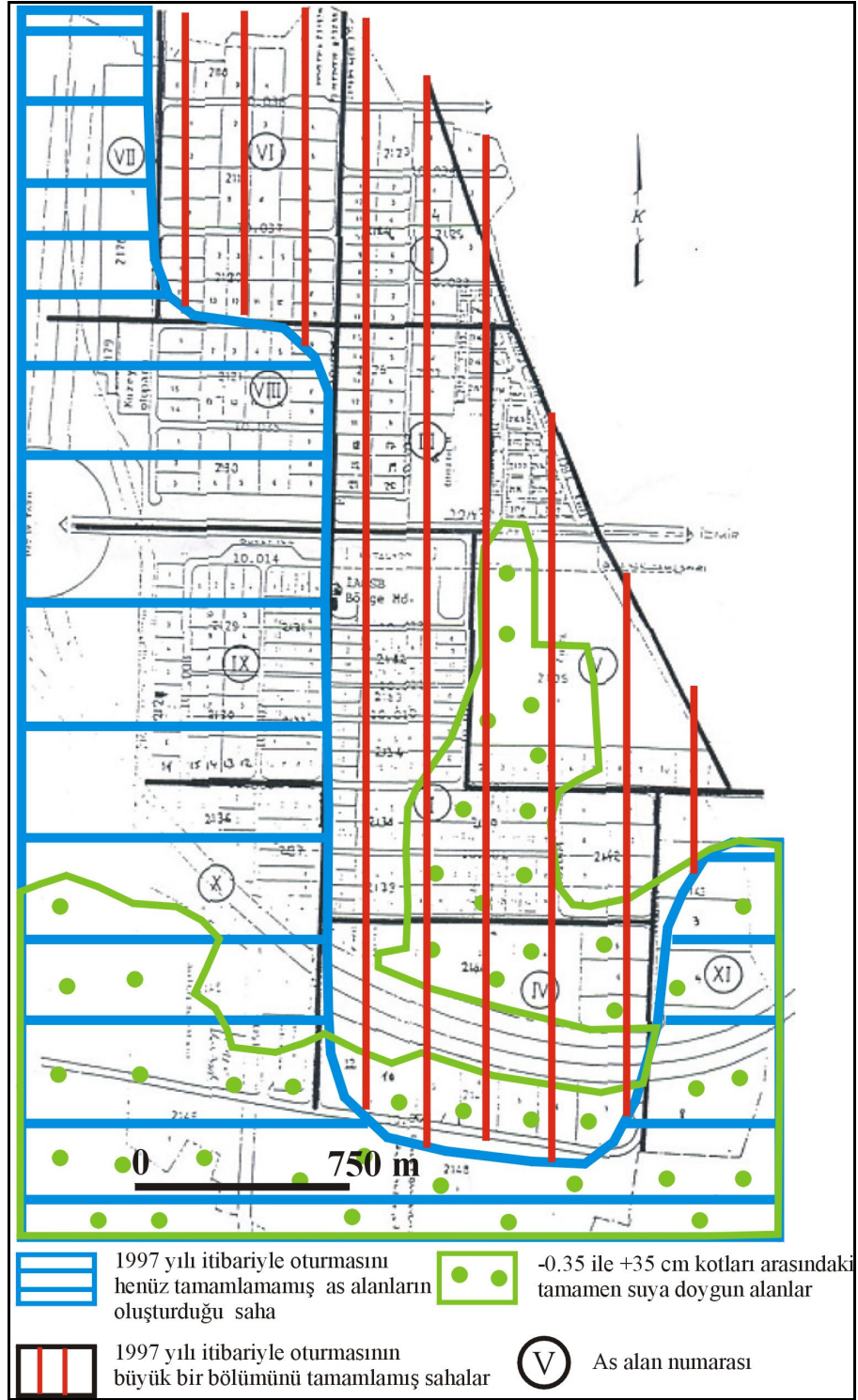
7.9.2 Konsolidasyon Oturmalarının Hesaplanması

İAOSB Sanayi Bölgesi zemin kesitinin değişimine göre 11. asalana ayrılmıştır (Şekil 7.16). Her bir asalanda zemin tabakaları yaklaşık aynı tabakalardan meydana gelmekle birlikte zemin seviyesi kalınlıkları ve zemin parametreleri farklı olabilmektedir.

Çalışmada konsolidasyon oturmalarının hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$\Delta H = H \cdot \frac{Cc}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_0 + \Delta \sigma}{\sigma_0} \dots\dots\dots (Craig, 1992).$$

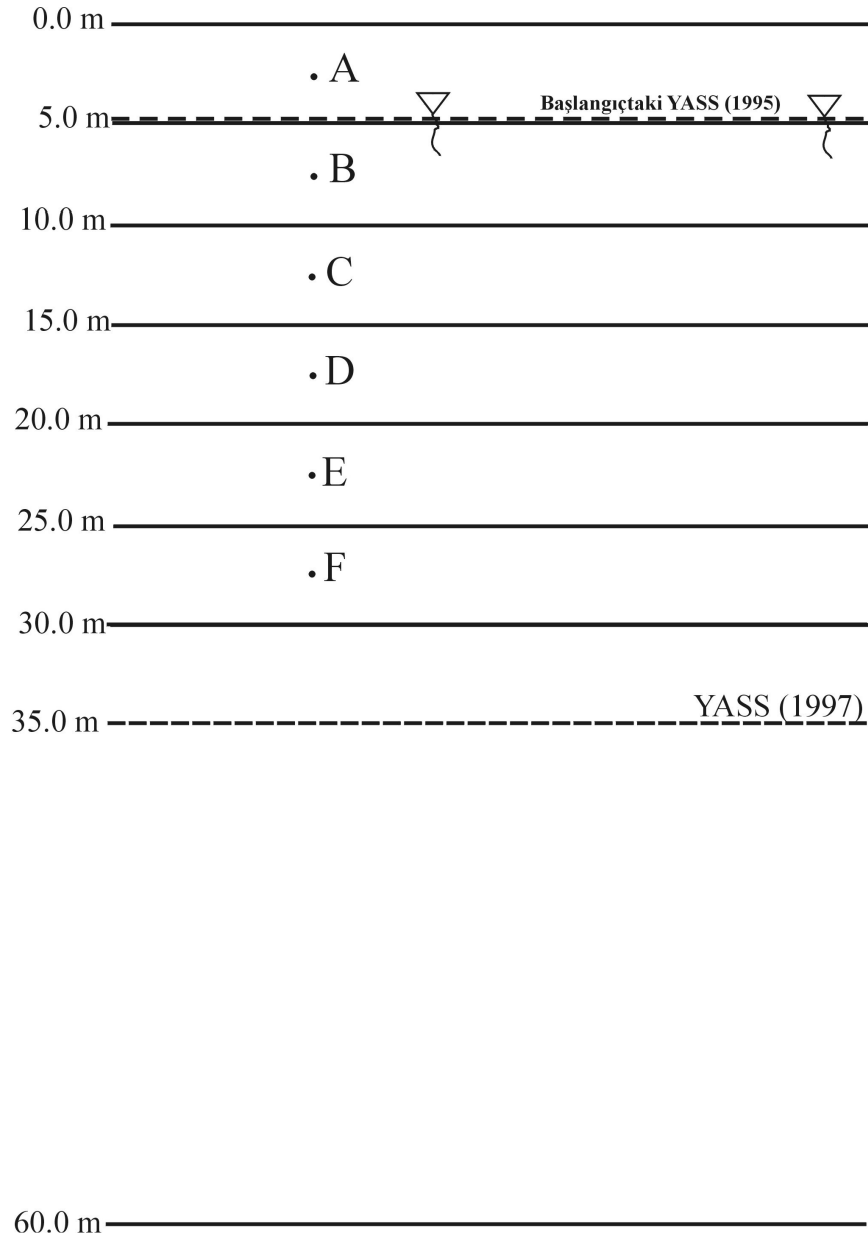
Hesaplamalarda sıkışabilir zemin seviyesi 5’er metrelik tabakalara ayrılmış, oturma hesapları her bir tabaka için ayrı ayrı yapılmış ve oturmaların toplamları alınmıştır.



Şekil 7.16 Sahanın oturma açısından bölümleri (Geosan, 1998).

Şekil 7.17'de 5'er metreye ayrılmış 30 metrelik sıkışabilir zemin tabakalarının orta noktaları (A, B, C, D, E, F) gösterilmiştir.

İlksel ve son durumlar göz önüne alındığında, tabaka orta noktalarındaki ilksel ve piyezometrik su seviyesi düştükten sonraki artan son gerilmeler aşağıda hesaplanmıştır:



Şekil 7.17 5'er m'lik tabakalara ayırarak konsolidasyon oturmalarının hesaplanması.

Hesaplamalar adım adım açıklanacak olursa;

1. adım:

Her tabakanın ortasına gelen A,B,C,D,E ve F noktalarındaki ilksel durumdaki (YASS = 5.0 metre iken ve yapılaşma olmadan evvelki durumda) efektif gerilmeler hesaplandığında;

$$\sigma_{A_0} = 18 \cdot 2,5 = 45kPa \quad (\sigma_0)$$

$\gamma_n = 18 \text{ kN/m}^3$ (kPa/m^3), A noktasının derinliği = 2.5 metre

$$\sigma_{B_0} = 18 \cdot 5 + (18 - 10) \cdot 2,5 = 110kPa$$

Yeraltı su seviyesinden B noktasına kadar olan derinlik 2.5 metre

$$\sigma_{C_0} = 18 \cdot 5 + (18 - 10) \cdot 7,5 = 150kPa$$

Yeraltı su seviyesinden C noktasına kadar olan derinlik 7.5 metre

$$\sigma_{D_0} = 18 \cdot 5 + (18 - 10) \cdot 12,5 = 190kPa$$

Yeraltı su seviyesinden D noktasına kadar olan derinlik 12.5 metre

$$\sigma_{E_0} = 18 \cdot 5 + (18 - 10) \cdot 17,5 = 230kPa$$

Yeraltı su seviyesinden E noktasına kadar olan derinlik 17.5 metre

$$\sigma_{F_0} = 18 \cdot 5 + (18 - 10) \cdot 22,5 = 270kPa$$

Yeraltı su seviyesinden F noktasına kadar olan derinlik 22.5 metre

2. adım:

Derin akiferin su seviyesi 1997 yılı itibariyle 35 metrelere indiği durumda geçerli olan gerilmeleri hesaplanması;

$$\sigma_{A1} = 18 \cdot 2,5 + 50 = 95kPa \quad (\sigma_1)$$

$$\sigma_{B1} = 18 \cdot 7,5 + 50 = 185kPa$$

$$\sigma_{C1} = 18 \cdot 12,5 + 50 = 275kPa$$

$$\sigma_{D1} = 18 \cdot 17,5 + 50 = 365kPa$$

$$\sigma_{E1} = 18 \cdot 22,5 + 50 = 455kPa$$

$$\sigma_{F1} = 18 \cdot 27,5 + 50 = 545kPa$$

Hesaplamaları Tablo 7.1 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 7.1 Oturma Analizi Hesap Tablosu.

| Tabaka. no | H(m) | σ_0 (kPa) | σ_1 (kPa) | σ_0 | σ_1 / σ_0 | $\log \sigma_1 / \sigma_0$ |
|---------------|------|---------------------|---------------------|------------|-----------------------|----------------------------|
| 1 | 5 | 45 | 95 | 50 | 2,11 | 0,325 |
| 2 | 5 | 110 | 185 | 75 | 1,68 | 0,22 |
| 3 | 5 | 150 | 275 | 125 | 1,83 | 0,26 |
| 4 | 5 | 190 | 365 | 175 | 1,92 | 0,28 |
| 5 | 5 | 230 | 455 | 225 | 1,978 | 0,296 |
| 6 | 5 | 270 | 545 | 275 | 2,01 | 0,305 |

$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_0 =$ Su seviyesinin düşmesine bağlı olarak gerçekleşmiş 5'er metrelik dilimlere ait gerilme artışı değerleri.

Yukarıda her bir 5 metrelik tabaka için başlangıç ve son efektif ve toplam gerilmeler hesaplanmıştır.

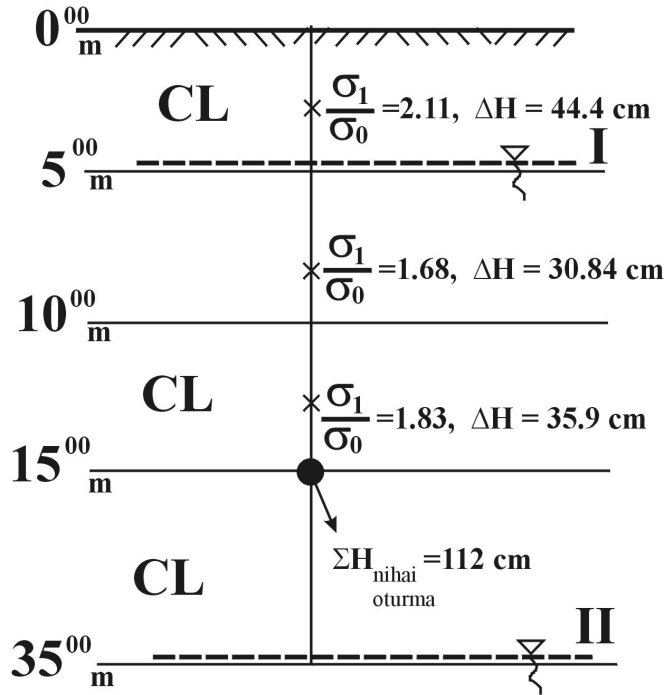
Ayrıca birbirlerinin oranlarının logaritması da Tablo 7.1’de sunulmuştur.

$$\log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} = \log \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \text{ 'dır.}$$

Hesaplamalarda;

$$\Delta H = H_0 \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \text{ formülü kullanılmıştır.}$$

Buna göre örneğin 15 metrelik ince daneli sıkışabilir zemin tabakasının (CL) oturması hesaplandığında: ($C_c = 0,575$ ve $e_0 = 1,1$ alınması durumunda)



Açıklama

I : Birinci durum (su seviyesi 5 metre)

II : İkinci durum (su seviyesi 35 metre)

Şekil 7.18 Su seviyesi 5 m (I.durum) ve 35 metre (II.durum) olması durumunda CL tabakasının oturmaları.

Birinci 5 (500 cm) metrelik tabakanın oturması:

$$\Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot \log 2,11$$

$$\Delta H = 44,4cm$$

İkinci 5 metrelik tabakanın oturması:

$$\Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot \log 1,68$$

$$\Delta H = 30,84cm$$

Üçüncü 5 metrelik tabakanın oturması:

$$\Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot \log 1,83$$

$$\Delta H = 35,9cm$$

Nihai oturma ise üç tabakanın toplamı kadardır.

$$\Sigma H = 112cm$$

Her tabakanın oturmasını ayrı ayrı hesaplamak yerine, nihai oturma aşağıdaki şekilde de hesaplanabilir.

$$\Sigma \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot (\log 2,11 + \log 1,68 + \log 1,83)$$

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1+1,1} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26)$$

$$\sum \Delta H = 112 \text{ cm}$$

I. As alan:

1997-1998 yılı itibariyle en fazla oturma bu aslanda gözlenmiştir (Şekil 7.16) 42 su kuyusu tespit edilmiştir. Derin akiferdeki piezometrik seviye düşümü 25-35 metrededir. Çok zayıf ve sıkışabilir zemin kesit kalınlığı 15-25 metredir. ($C_c=0,575$; $e_0=1,1$ alınabilir.)

Sıkışabilir ince taneli zeminlerin tüm sıkışabilir kesite oranı %80 olarak belirlenmiştir.

Sıkışabilir tabaka kalınlığı ortalama 30 metre (3000 cm) için toplam oturma (5'er metrelik dilimler için):

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{0,2738} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26 + 0,28 + 0,296 + 0,305)$$

$$\sum \Delta H = 230,8 \text{ cm nihai oturma hesaplanır.}$$

Daha önce bahsedilen kabullere göre; alttaki sert tabaka için hesaplanan değerleri %20 arttırılırsa ve nihai değeri ince daneli gercin tüm sıkışabilir kesite oranı nispetinde azaltılırsa:

$$230,8 \cdot 1,20 = 276,96 \text{ cm} \cong 277 \text{ cm.}$$

Bu değer %80'ini alınırsa;

$$2,77 \cdot 0,80 = 221,6 \text{ cm nihai oturma değeri elde olunur.}$$

II. As alan:

Yapılan kot ölçümlerinde 1,05 metrelik bir oturma tespit edilmiştir (Geosan, 1998). Derin akiferin piezometrik su düzeylerindeki düşümler 60 metreyi aştığı belirlenmiştir. Çok zayıf ve sıkışabilir üst zemin tabakası 15-25 metre olarak verilmiştir. $C_c = 0,575$ ve $e = 1,1$ olarak alınmıştır.

İnce taneli zeminlerin sıkışabilir kesite oranı %60 mertesinde dir.

25 metrelik sıkışabilir tabakanın oturması:

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26 + 0,28 + 0,296) = 500 \times 0,3781 = 189 \text{ cm}$$

$$\sum \Delta H = 189 \text{ cm}$$

Bu değer %20 oranında arttırılırsa;

$$189 \cdot 1,20 = 226,8 \text{ cm}$$

Bu değer %60 oranında azaltılırsa;

$\sum \Delta H = 226,8 \cdot 0,60 = 136 \text{ cm}$ nihai oturma hesaplanır. %60 oranında azaltılmasının nedeni; ince taneli zeminlerin sıkışabilir kesite oranı 6/10 mertebesinde olmasıdır.

III. As alan:

Oturmalar 0,50-1,00 metre olarak ölçülmüştür. Derin akiferdeki düşümler 30 metre dolayındadır. Üst zemin kesit kalınlığı 25 metre, $C_c = 0,40$ ve $e_o = 1,1$ alınmıştır.

İnce daneli zeminlerin sıkışabilir tabaka kalınlığına oranı %80 mertebesinde dir.

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,400}{1+1,1} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26 + 0,28 + 0,296)$$

25 metrelik sıkışabilir tabakanın oturması hesaplanırsa;

$\sum \Delta H = 131,52cm$ 'lik oturma değeri elde olunur. Elde edilen oturma değeri %20 oranında arttırılacak olursa;

$$131,52 \cdot 1,20 = 157,80cm$$

Bu değerin %80'i alınırsa,

$$157,80 \cdot 0,80 = 126cm \text{ nihai oturma değeri hesaplanmış olur.}$$

IV. As alan:

Oturmalar 0-1,5 metre arasında ölçülmüştür. Yeraltı su düzeyindeki düşümler 15-25 metre verilmiştir. Üst zemin kesit kalınlığı ortalama 15-30 metre arasında değişmektedir. $C_c = 0,400$ ve $e_o = 1,2$ alınmıştır.

İnce daneli zeminlerin sıkışabilir tabaka kalınlığına oranı %80 mertebesindedir.

30 metrelik tabakanın oturması hesaplanacak olursa;

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1+1,2} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26 + 0,28 + 0,296 + 0,305)$$

$$\sum \Delta H = 230,82cm \text{ elde edilir.}$$

Yukarıdaki oturma değeri %20 oranında arttırılacak olursa;

$$230,82 \cdot 1,20 = 276,98cm$$

Bu değerin %80'i alınırsa;

$$276,98 \cdot 0,80 = 221cm \text{ nihai oturma değeri hesaplanmış olur.}$$

V. As alan:

Bu aslında 1.00 metrenin üzerinde oturmalar görülmüştür. Altyapı hasarlarının gözlemlendiği belirtilmiştir. Derin akiferdeki seviye düşümleri 30 metre civarındadır.

Çok zayıf ve sıkışabilir zemin kesit kalınlığı 15-20 metredir. Zemin kesiti içindeki sıkışabilir nitelikli ince daneden kurulu tabaka kalınlığının oranı %70 civarındadır.

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1+1,1} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26 + 0,28)$$

$$\sum \Delta H = 148,54cm \text{ oturma değeri hesaplanır.}$$

Bu değer alttaki sert tabakalar için,yapılan kabule göre, %20 oranında arttırılırsa;

$$\sum \Delta H = 148,54 \cdot 1,20 = 178,25cm$$

Bu değerin %70'i alınırsa;

$$178,25 \cdot 0,70 = 124,75cm \text{ nihai oturma değeri hesaplanmış olur.}$$

VI. As alan:

Oturmalar 0-0.50 cm olarak ölçülmüştür. Derin akiferdeki düşümler 35 metre olarak belirlenmiştir.

Çok zayıf ve sıkışabilir üst zemin kesit kalınlığı 30 metre dolayındadır.

VII. As alan:

Sahanın kuzeybatı sınırında yer alan (Şekil 7.16) bu bölgede oturmalar 10 cm olarak ölçülmüştür. Yollarda hasar belirtileri gözlenmiştir. Su kuyusu varlığı ve yeraltı suyu çekiminin yapıldığı belirlenmemiştir. Buna karşın, derin akiferin piyezometrik su düzeyindeki düşümler komşu as alanlardaki çekimin etkisiyle 35 metreyi bulmaktadır.

Zemin kesiti içindeki sıkışabilir nitelikli ince daneli geyekten kurulu tabaka kalınlığının oranı %50'dir. Çok zayıf ve sıkışabilir üst zemin kesiti kalınlığı 20 metre kadardır. ($C_c=0,575, e_0=0,8$ alınmıştır.)

20 metrelik sıkışabilir zemin tabakasının oturması hesaplanırsa;

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 0,8} \cdot 1,085$$

$$\sum \Delta H = 173,29 \text{ cm} \text{ olarak elde olunur.}$$

Bu değer %20 oranında artırılacak olursa;

$$173,29 \cdot 1,20 = 207,95 \text{ cm}$$

Bu değer %50'i dikkate alınırsa,

$$207,95 \cdot 0,50 = 104 \text{ cm nihai oturma değeri hesaplanır.}$$

VIII. As alan:

Bu aslında 1998 yılı itibarıyla 0.50 metrelik bir oturmanın ölçüldüğü belirtilmiştir. Derin akiferin piyezometrik su düzeylerindeki düşümler 35 metre'ye yaklaşmıştır.

Çok zayıf ve sıkışabilir üst zemin kesiti kalınlığının 20 metre olduğu belirtilmiştir. İri daneli zemin kalınlığının oranı %70 olarak belirlenmiştir ($C_c=0,400$, $e_0=0,8$ alınmıştır).

20 metrelik sıkışabilir tabakanın oturması hesaplanacak olursa;

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,400}{1 + 0,8} \cdot 1,085$$

$$\sum \Delta H = 120,55 \text{ cm toplam oturma değeri bulunur.}$$

Bu değer, %20 oranında arttırılacak olursa:

$$120,55 \cdot 1,20 = 145,66 \text{ cm toplam oturma değeri bulunur.}$$

Bu değer %70'ini alalım,

$$\sum \Delta H = 145,66 \cdot 0,70 = 101 \text{ cm nihai oturma değeri hesaplanır.}$$

IX. As alan:

Bu asalandaki oturmalar 0-0,50 metre arasında değişmektedir. Alt yapı ve yapılarda hasara rastlanmamıştır. Su düzeyindeki düşümler 33 metre kadar ölçülmüştür. Çok zayıf ve sıkışabilir üst zemin kesiti kalınlığının 30 metre olduğu belirtilmiştir. İri daneli zemin kalınlığının oranı %50 olarak belirlenmiştir ($C_c=0,450$, $e_0=1,1$ alınmıştır).

30 metrelik sıkışabilir tabakanın oturması hesaplanacak olursa;

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,400}{1 + 0,8} \cdot 1,686$$

$\sum \Delta H = 180,6cm$ toplam oturma değeri bulunur.

Bu değer, %20 oranında arttırılacak olursa:

$180,6 \cdot 1,20 = 216,77cm$ toplam oturma değeri bulunur.

Bu değer %50'ini alalım,

$\sum \Delta H = 216,77 \cdot 0,50 = 108,38cm$ nihai oturma değeri hesaplanır.

X. As alan:

Bu aslında raporlardan anlaşıldığı üzere (1997 yılı itibariyle) oturma tespit edilmemiştir (Şekil 7.16). Oturma gözlenmemesinin nedeni, bölgede su çekiminin olmayışı ve oturmaları hızlandıran kum ara katkılarının kesit boyunca ancak %10 mertebesinde olmasıdır.

Derin akiferin piezometrik su seviyesindeki düşümler 30 m'yi aşmıştır. 25 metrelik sıkışabilir zemin tabakasının olası oturması hesaplanırsa ($C_c=0,575$, $e_0=1,1$ alınmıştır).

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot 1,686$$

$\sum \Delta H = 230,82cm$ olarak elde olunur. Bu değer %20 oranında arttırılacak olursa

$$230,82 \cdot 1,20 = 276,98cm = 277cm.$$

XI As alan:

Sahanın güneydoğu köşesindeki bu asalanda, 1997 yılı itibariyle 20 cm lik oturma ölçülmüştür. Sayaçlarla belirlenmiş yer altı suyu çekiminin çok az olduğu belirtilmiştir. Derin akiferin piezometrik su düzeyindeki düşümler 15 m olarak belirlenmiştir.

Çok zayıf ve sıkışabilir üst zemin kesiti kalınlığı 12 metredir. Zemin kesiti içindeki sıkışabilir nitelikli ince daneli gereçten kurulu tabaka kalınlığının oranı % 70 kadar alınmıştır. ($C_c=0,575$, $e_0=1,1$ alınmıştır.)

$$\sum \Delta H = 500 \cdot \frac{0,575}{1 + 1,1} \cdot (0,325 + 0,22 + 0,26)$$

$$\sum \Delta H = 110,20 \text{ cm}$$

Bu değer %20 oranında arttırılırsa;

$$\sum \Delta H = 110,20 \cdot 1,20 = 132,25 \text{ cm}$$

Bu değer %70'i alınırsa;

$$132,25 \cdot 0,70 = 92,5 \text{ cm}$$

Tablo 7.2 Nihai Oturma Değerleri.

| Asalan | Hesaplanan Konsolidasyon Oturması (m) | Ölçülen Oturma Değerleri (1997) (m) | Bölgesel Değerlendirme |
|--------|---|---|--|
| I | 2,21 | 2,05 | Oturmasının büyük bölümünü tamamlamış as alanlar |
| II | 1,36 | 1,05 | |
| III | 1,26 | 1,00 | |
| IV | 2,21 | 1,50 | |
| V | 1,25 | 1,20 | |
| VI | 1,50 | 0,60 | 1997 yılı itibarıyla oturmasını henüz tamamlamamış as alanlar İAOSB alanının batı ve güneyi |
| VII | 1,04 | 0,10 | |
| VIII | 1,01 | 0,50 | |
| IX | 1,08 | 0,30 | |
| X | 2,77 | - | |
| XI | 0,925 | 0,20 | |

İnceleme alanında (İAOSB alanında) gözlenen ve hesaplanan en yüksek oturma değeri X-nolu asalanda 2,77 metre olarak belirlenmiştir. (Tablo 7.2). En düşük hesaplanan oturma değeri ise 92,5 cm olarak belirlenmiştir. Ölçülen oturma değerleriyle hesaplananlar genelde birbirini doğrularken, inceleme alanının batısındaki as alanlarda (VII, VIII, IX, X ve XI'nci asalanlar) oturma değerleri birbirini tutmamaktadır.

7.10 Alansal Oturmalar ve Zaman İlişkilerinin Hesaplanması

İAOSB'de gözlenen alansal oturmaların nihai değerlerinin hesaplanmasının yanında, bu değerlerin ne kadar zaman zarfında, yüzde kaç mertebesinde oluşacağını da hesaplanması gerekir.

Hesaplamalarda; $t_i = \frac{T_i \cdot Hd^2}{cv}$ bağıntısı kullanılmıştır.

Konsolidasyon katsayısı (cv) değeri İAOSB alanı için ortalama

Sıkışabilir üst kesit için $cv = 2 \cdot 10^{-5} m^2 / dak$

Sert killer için $cv = 4,2 \cdot 10^{-5} m^2 / dak$

bulunmuştur (Geosan, 1998).

Tablo 7.3 Zaman Faktörü (T_i) - Konsolidasyon Yüzdesi Bağlantısı (Kumbasar ve Kip, 1977).

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| U | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| T_i | 0,08 | 0,031 | 0,071 | 0,126 | 0,197 | 0,287 | 0,408 | 0,567 | 0,848 | □ |

Tablo 7. 3’de T_i , boyutsuz bir sayı olup Zaman Faktörüdür. H_d drenaj mesafesi olup, iki tarafı geçirimli ‘H’ kalınlığındaki tabakada, $H=H/2$; altı geçirimsiz tabakada; $H_d=H$ ’dır.

Sahada, sıkışabilir kil-silt tabakalarının kalınlığı (kum ara katkısız) değişen kalınlıklarda gözlenmektedir. 1-36 metre arasında değişen kalınlıklarda kil-silt tabakasının tespit edildiği belirtilmiştir.

Sahanın güneybatı kesiminde yapılan sondajlarda 36 metrelik kum ara katkısız sıkışabilir zemin tabakasının yarı konsolidasyon zamanı:

$$t_{50} = \frac{T_i \cdot H_d^2}{cv} \text{ formülüne göre}$$

$$t_{50} = \frac{0,197 \cdot 18 \cdot 18}{2 \cdot 10^{-5}}$$

$$t_{50} = 6,02 \text{ yıl bulunmuştur.}$$

I. As alan:

Bu asalanda toplam oturma 2,15 metre, 1997 yılında ölçülen oturma değeri ise 2.05 metre olarak belirlenmiştir. Bu durumda, 1997 yılında toplam oturmaların % 90'ı gerçekleşmiştir.Günümüzde oturmalar; nihai değere varmış olmalıdır.

Bu asalanda oturmaların erken dönemde tamamlanma aşamasına gelmiş olması; su çekimlerinin fazla olmasıyla ya da sıkışabilir ara katkısız kil-silt tabakalarının kalınlığının az olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Bu asalanda kesintisiz kil tabakasının en çok 5 m olduğu belirtilmiştir.

II. As alan :

Ölçülen oturma 1,05 metre, hesaplanan toplam oturma miktarı ise 1,30 m mertebesindedir. Konsodilasyon sürecinin ölçümlerden sonraki ilk 2 yıl içinde tamamlanmış olması gerekir.

III. As alan :

1, 00 metre oturma ölçülmüştür. Nihai oturma miktarı 1,40 cm olarak hesaplanmıştır. İlk 2 yıl içerisinde konsodilasyon sürecinin yavaşlayarak tamamlanması öngörülmüştür.

IV. As alan :

Hesaplanan oturma 2.08 m, ilk 2 yıl içinde ölçülen oturma miktarı 1,50 metre kadardır.Toplam oturmanın %72 kadarı gerçekleşmiştir.

V. As alan:

1.26 metre toplam oturma, 1,20 metre de ölçülen oturma miktarıdır. 2 yıl içerisinde konsolidasyon sürecinin tamamlanmış olacağı söylenebilir.

VI. As alan:

1997 yılında 0.60 cm lik oturma gözlenmiş ve toplam oturma 1.50 cm dolayında bulunmuştur. Buna göre: $0.60/1.50 = 0.40$ %40 lık konsolidasyon oturması gözlenmiş demektir.

Oturmaların %80 mertebesine varması için, geçecek süre, ($U_{80}=0,567$, Tablo 7.3)

1 gün=1440 dakika

$$t_{80} = \frac{0,567 \cdot 10 \cdot 10}{2 \cdot 10^{-5}} = \frac{2835000}{1440(dak)} = 1968,75 \text{ gün}$$

$$\frac{1968,75}{360} = 5,468$$

$t_{80} = 5,5$ yıl olarak bulunur.

VII. As alan:

Bu asalan sahanın kuzeybatı sınırında yer almaktadır (Şekil 7.16). Oturmaların etkilerinin ilk hissedildiği 1997-1998 yıllarında bu alanda oturmaların etkileri çok az hissedilmiştir.

Ölçülen oturma değerleri 10 cm mertebesindedir. Yer altı suyu çekiminin o tarihlere kadar olmaması, derin akiferdeki su düşümlerinin göreceli olarak az

olmasına ve oturma ölçümlerinin geçikmeli olarak gözlenmesine yol açmıştır. Bununla birlikte 1 metreyi biraz aşabilecek oturmalar hesaplanmıştır.

1997 yılı itibariyle konsolidasyon oranı %10 kadar gerçekleşmiştir.

20 metre kalınlıkta sıkışabilir zemin kesitinin %90 konsolidasyon zamanını bulalım. ($U_{90}=0,848$).

$$t_{90} = \frac{0,848 \cdot 10 \cdot 10}{2 \cdot 10^{-5}}$$

$$t_{90} = 4240000 \text{ dak}$$

$$t_{90} \cong 8 \text{ yu olarak elde olunur.}$$

VIII. As alan :

1997 yılı itibariyle oturmaların:

$$U = 0,50 / 1,00 = 0,50 ; \%50 \text{ kadarı gerçekleşmiştir.}$$

Oturmaların %80'inin gerçekleşmesi için geçecek süre:

$$t_{80} = \frac{0,567 \cdot 10 \cdot 10}{2 \cdot 10^{-5}} = 5,5 \text{ yu}$$

IX. As alan:

Bu aslında 1997 yılında hesaplanan konsolidasyon oranı.

$$U = 0,30 / 1,08 = 0,30 , \%30 \text{ bulunur.}$$

Sahada yer altı su seviyesi düşümleri oturmaların hissedildiği ve ölçümlerin yapıldığı 1997 tarihinden 2 yıl önce başladığı kabul edilmiştir (Geosan, 1998).

İlk ölçümlerin yapıldığı tarihte konsolidasyon sürecinin 2 yıldır sürmekte olduğu bilinmektedir.

Buna göre, ilk ölçümlerin yapıldığı andan itibaren 2 yıl içinde toplam 4 yıllık bir konsolidasyon sürecinin sonunda

Bu süre sonunda (20 metrelik sıkışabilir tabaka için)

$$T_i = \frac{4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{10 \cdot 10}$$

$$T_i = 0,420$$

Bu oran Tablo 7.3'de yaklaşık %70-75 kadarlık bir konsolidasyon oranına karşılık gelmektedir. Hesaplanan toplam oturma yaklaşık 1 metre olarak hesaplandığına göre, ölçümlerin yapıldığı ilk 2 yıl içinde 70 cm kadar bir oturma gerçekleşeceği öngörülmüştür. Oturmalar 1995'te başlamış 1997'de %30'u gerçekleşmiş ve 1999'da %100'e erişerek tümü tamamlanmıştır.

X. As alan:

Bu aslında en yüksek oturmalar hesaplanmışsa da ilk ölçümlerde oturma değerleri gözlenmemiştir.

Yine ilk iki yıl içinde toplam 4 yıllık olduğu kabul edilen konsolidasyon sürecinin sonunda:

$$T_i = \frac{4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{15 \cdot 15}$$

$$T_i = 0,186$$

Tablo 7.4'de bu değerin yaklaşık %50 konsodilasyon süresine denk geldiği görölmektedir.

Toplam oturma yaklaşık 3 metre olduğundan 1997 yılından itibaren ilk 2 yıl içinde 1.50 metre kadar oturmanın geręekleŝeđi öngörölmüŝtür (Bu asalanda sıkışabilir zemin kalınlığı 30 metre ve hesaplamada drenaj mesafesi 15 metre alınmıştır.)

%90 konsodilasyon süresi ise:

$$t_{90} = \frac{0,848 \cdot 15 \cdot 15}{2 \cdot 10}$$

$$t_{90} = 18 \text{ yıl}$$

Bu asalanda günümüzde de konsodilasyon sürecinin devam ettiği anlaşılmaktadır.

XI. Asalan:

Bu asalanda ilk 2 yıl içinde: $0,20/0,92 = 0,21$, yaklaşık %20'lik bir konsodilasyon oranı geręekleŝmiŝtir.

İlk ölçümlerin yapıldığı 1997 tarihinden itibaren 2 yıl içersinde (toplam 4 yıllık konsodilasyon süreci)

$$T_{80} = \frac{4 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{6 \cdot 6}$$

$$T_{80} = 1,168$$

Bu değer %95 civarında bir oturma oranına tekabül etmektedir (Şekil 7.3).

Bu şekilde 2 yıl içerisinde (1999'da) oturmaların tamamlanmış olacağı tespit edilmiştir. Günümüzde ise nihai oturmalara ulaşılmıştır.

Sahada en çok oturmaların gözleendiği, ölçüldüğü asalanlarda oturmaların sonuna yaklaşıldığı ancak diğer sahalara (VII, VIII, IX, X ve XI asalanları) yayılmasının kaçınılmaz olduğu belirlenmiştir. Hesaplamalardan anlaşıldığı üzere, ilk ölçüm zamanından sonra iki yıl süre içerisinde oturmaların sahada az etkilenen asalanlara yayılacak şekilde şiddetlenerek yayılmış olduğu anlaşılmıştır. (Şekil 7.16) Yapılan analiz sonuçlarına göre, oturmaların, sahanın batı ve kuzey batı kesimlerine doğru öncelikle yayılacağı anlaşılmıştır.

Bugün için tüm asalanlar için (yapılan kabuller sınırı dahilinde) konsolidasyon sürecinin tamamlanmış olduğu veya nihai değerlere yaklaştığı söylenebilir.

Sahada yer altı suyu koşullarının kötüleşmesi, derin akifer piezometrik su düzeyinin daha da düşmesi gibi durumlarda hesaplanan oturma değerlerinin aşılabileceği dikkate alınması gereken bir husustur.

Bununla birlikte hesaplanan değerlerde %10-15 lik yanılma payının olabileceği de şüphesizdir.

7.11 Alansal Oturmaların Gelişimi ve Alınması Gereken Önlemler

7.11.1 Oturmaların Görüldüğü Alanlar Genişler mi?

1997 yılı itibariyle sahanın belirli bölgelerinde 2,00 metreyi aşan oturmalar (I-nolu asalan) ölçülmüş; bazı bölgelerde ise, özellikle sınır bölgelerine doğru, oturmaların az olduğu ve oturma gözlenmediği alanlar (örneğin X-nolu asalan) tespit edilmiştir.

Saha ölçeğinde oturma değerlerinde gözlenen bu farkların nedenlerini şu şekilde açıklayabiliriz:

1) Oturmanın ana nedeni yeraltı su düzeyinin düşüşü olduğuna göre; oturmaların, düşümün en fazla olduğu alanlarda olması doğaldır. Sahanın en fazla kuyu açılan, en fazla su tüketimi yapılan alanlarda oturmaların yüksek değerler göstermesi bundandır.

2) Diğer bir neden ise düşey zemin kesitindeki sıkışabilir kil-silt tabakalarının bir yerden bir yere kalınlıklarının farklı olmasıdır. Üst zonlardaki kum tabakalarının varlığı ve kalınlığı da oturmaları hızlandıran bir faktördür.

3) Sahanın bütününde zemin tabakaları genel istife uyumlu bir yapı sunar.

4) Ortalama 20 metrelik üst zondaki sıkışabilir, yumuşak kil-silt tabakası 1997 yılı itibariyle oturmaların gözlenmediği alanlarda da mevcuttur. Dolayısıyla, bu bölgelerde de oturmaların beklenmesi gerekir.

5) Oturmaların gözlenmediği arazinin batı ve güney/güneybatı bölgesinde (1997 yılı için) yer altı su seviyesinin sıkışabilir zemin kesitine kadar düşmüş olduğu bilinmektedir. (Şekil 7.16) Bu bölgedeki sıkışabilir zemin tabakalarının kalınlığının artması, killi tabakalarının oranının artması yüksek oturma değerleri yaratır. Fakat, suyun hızlı drenajına imkan verecek kum ara katkılarının olmayışı, oturmaların daha sonraki yıllarda bekleneceğine bir işarettir.

7.11.2 Oturma Süreci Durdurulabilir mi?

Bölgedeki zemin kaynaklı sorunların çözümü konusunda, ilk olarak değerlendirilmesi ya da cevap verilmesi gereken soru oturmaların durdurulup, durdulamayacağı; eğer durdulabilecekse nelerin yapılması gerektiğinin bilinmesi zorunluluğudur. Sahada yaşanan oturmaların geri dönülemez olduğu bilinmektedir. Konsodilasyon oturmaları zeminin geri dönülemez bir biçim değiştirmesidir. Konsodilasyona neden olan yükler kaldırıldığında, konsodilasyon süreci

yavaşlayarak durabilir. Ancak, gerçekleşen hacımsal sıkışma artık geri dönemez ve zemin eski hacmine kavuşamaz. Bu nedenle, ne önlem alınırsa alınsın bugüne kadar olan oturmalar geri dönülemez olup kalıcıdır.

Sahadaki oturmaların nedeni olan piezometrik su seviyelerini ilksel konumuna yükselterek, konsolidasyon sürecini durdurmak ya da yavaşlatmak teorik olarak mümkün görünmektedir. Bununla birlikte, önlem alınarak oturma nedenleri ortadan kaldırılırsa etkisinin geçikmeli olarak görüleceği, beklenen oturmaların belli bir süre daha süreceği beklenmelidir.

7.11.3 Değişik Önlemlerin Tartılması

Sanayi bölgesinde oturmalar sürdükçe beraberinde pek çok hasar meydana gelecektir.

- Her şeyden önce teorik olarak oturmaların durdurulması ya da yavaşlatılması; ya da başka bir ifadeyle saha boyunca yayılımının önlenmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

- Teorik olarak, sahada konsolidasyona yol açan faktörlerin ortadan kaldırılmasıyla oturmaların kontrol altına alınması mümkün olacaktır.

- Oturmalara neden olan etkenleri ortadan kaldırmak; ilksel konumunun metrelerce altına düşen yer altı su seviyesini ilk konumuna getirmekle mümkün olabileceği düşünülmektedir. Buna göre, sahadaki derin akiferin su düzeyleri yeniden 5 metre derinliğe yükseltirirse, sıkışabilir zemin tabakalarında oluşmuş fazla gözenek suyu basıncı ortadan kalkacak; efektif gerilmeler eski durumuna düşecek ve konsolidasyon duracaktır.

- Yeraltı su seviyesini yükseltmek için alınabilecek önlemler ve kısıtlamalar sınırlı olmakla birlikte sahadaki oturmaların ve hasarların yayılımının durdurulması için uygulanması gereklidir.

- Yeraltı su seviyesini yükseltmek için ilk olarak akla gelebilecek olan yer altı suyu tüketimini durdurmak ve akiferin kendi kendini onarmasını beklemek uygulamada mümkün değildir. Sahada bugün de geçerli olmak üzere su ihtiyacını karşılayacak tek kaynak derin akiferden temin edilen yer altı suyudur. Derin akiferi tükenme sürecine sokan aşırı tüketimin önüne geçilmesi, üretimin bütün saha boyunca sıkı denetime tabi tutulması, fazla su tüketimi yapan endüstrilerin artık bölgeye sokulmaması gerekmektedir.

- Yeraltı su seviyesini ilksel konumuna yükseltmek için yapay beslenme modeli tartışılmalıdır. Esasen bu yöntem, bölgenin koşulları dikkate alındığında en uygulanabilir çözüm yöntemi olarak değerlendirilebilir.

7.11.4 Yapay Beslenme Modeli

İnceleme alanında ortaya çıkan yaygın zemin oturmaları ve bunun sonunda oluşan alt ve üst yapı hasarlarını durdurmanın tek yolunun yer altı suyu akiferini yapay yolla besleyerek düşen basınçlı su düzeylerini eski durumuna geri getirmektir. Önerilen yapay beslenme modeli için derlenen gerekli veri ve bilgiler şu şekilde derlenmiştir.

Akifer, piezometrik, basınçlı bir akiferdir. Doğudan andezitik volkaniklerden beslenmektedir, İAOSB alanında çekimlerle boşaltılmaktadır. İlksel piezometrik su düzeyi 5 m'dir. Bu derinlik 1997'de 40 m. 2005'te 55 metredir. Akifer tavanı 60 m ya da daha derindedir. Akifer kalınlığı 100 m kadardır ve batı ve güneybatıya doğru artmaktadır. İletkenliği 15 m²/gün mertebesindedir, ve düşük iletkenliktedir.

Bu akiferden su üretmek amaçlı, 100-300 m arasında derinlikli kuyular açılmıştır. Kuyuların ilk 40-160 m'lik kesimi yalıtılmıştır. Özgül debileri 0,20-0,75 lt/s arasındadır. Kuyulardan ortalama 30 m'lik düşümlerle 4-10 lt/s. arasında değişen debilerle su çekilmektedir.

Yapay beslenmeden amaç, akiferin piezometrik su düzeylerini saha içindeki her yerde yükseltmektir.

Sanayi bölgesinde yapay beslenme noktalarının, yerinin, sayısının ve geri beslemenin m³/yıl bazında tespit edilmesi için gerekli veri ve bilgiler ise şöyledir:

1) Yeraltı suyu çekimi saha içinde eşit dağılmamaktadır. Çekim bazı yerlerde yoğunlaşmaktadır.

2) Yeraltı su çekimi uzun süredir yapıldığı için, akiferin piezometrik su seviyesi tüm saha boyunca düzenli bir biçimde düşmüştür.

3) Yapılan geri beslemeyle, piezometrik su düzeyi yükselmelerinin, aşırı çekim yapılan bölgeler dışında düzenli olarak yükseleceği düşünülebilir.

4) 1997 yılından itibaren ilk iki yıl içerisinde oturmaların öncelikle bölgenin kuzeybatı ve batı kısımlarına doğru yayılacağı öngörülmüştür.

Bu nedenle, yapay beslenmenin sahanın kuzeybatı bölgesinde öncelikle ve ağırlıklı yapılabileceği durumu ortaya çıkmaktadır.

Basıncılı akiferin yıllık doğal beslenme düzeyi, 1,000,000 m³/yıl olarak hesaplanmıştır (Geosan, 1998).

Çekimler 3,600,000 m³/yıl mertebesinde dir. YASS'nin hızla düşmesinin sebebi olan bu eksikliği gidermek için en az 2,500,000 m³/yıl kadar yapay beslenme yapılması önerilmiştir.

Yukarıda uygulanabilecek bazı önlemlerden bahsedilmiştir. Bunlara ilaveten getirilen diğer önerilere aşağıda değinilmiştir.

1- Bölgede; su ihtiyacını karşılayan derin akifer 1997 yılı itibariyle beslenmesinin yaklaşık üç katına ulaşan çekimlerle tükenme sürecine girmiştir. Diğer taraftan bölgede derin akifer dışında su ihtiyacını karşılayabilecek başka bir yeraltı ya da yerüstü kaynağının olmadığı da bilinmektedir. Akifer ise anlaşıldığı gibi bölgenin ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaktadır.

Bu noktada iki farklı yaklaşım söz konusudur.

- Yapay beslenme yapılsın ya da yapılmınsın bölgede su tüketiminin kısıtlanması, bir su tüketim planının yapılması, su tüketiminin kısıtlanması konusunda gerekli yatırımların yapılması gerekmektedir.

Aşırı çekimlerle hızla tükenme sürecine girmiş derin akifer önlem alınmaması durumunda yol açtığı zemin sorunlarının artacağı ve dahası hiç su üretilemez olacağı açıktır.

2- 1997 yılı itibarıyla çalışamaz duruma gelen yağmur suyu drenaj sisteminin onarılması, yenilenmesinin zorunluluğu

3- Sahadaki kot ölçümlerinin mutlaka sürdürülmesi, sonuçların önceki kot değerleriyle kıyaslanarak konsolidasyon sürecinin takip edilebilmesi şarttır. Diğer önlemler uygulanmasa dahi bu izlemenin yapılması gerekmektedir.

BÖLÜM SEKİZ TAŞIMA GÜCÜ

8.1 Taşıma gücü- Zemin emliyet gerilmesi

Yüzeysel temeller için nihai taşıma gücü formülü

$Q_f = K_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma$ bağıntısından yararlanılarak elde edilir (Terzaghi ve Peck, 1967).

Burada:

K_1, K_2 : Temel şekline bağlı şekil katsayıları

γ_1 : Temel tabanı üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı

γ_2 : Temel altındaki zeminin birim hacim ağırlığı

D_f : Temel taban genişliği

B : Temel genişliği

N_c, N_q, N_γ : Boyutsuz taşıma gücü faktörleri

c : kohezyon (Kg/cm², Ton/m², kPa....)

Zemin kesitinde, yapı temelleri seviyesinde kil ya da kum zeminler görülebilmektedir.

Kil zeminlerin, kum zeminlere nazaran daha az taşıma gücüne sahip olduğu açıktır. Bu nedenle güvenli tarafta kalmak için, kil zeminlerin taşıma güçlerinin dikkate alınması gereklidir. Kil zeminler için net taşıma gücü formülü:

$Q_{f_{net}} = K_1 \cdot c \cdot N_c$ olmaktadır (Craig,1992).

Temel tabanına denk gelen kil türü zemin için:

$N = 3$

$c = 20 \text{ kN/cm}^2$

$\gamma = 0$ için, $N_c = 5,14$ ve $K_1 = 1$ değerleri alınırsa

$$Qf_{net} = 5,14 \cdot 20 \cdot 1$$

$$Qf_{net} = 100,28 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$Qf_{net} \cong 100 \text{ kN} / \text{m}^2$, yaklaşık 100 kN/m² net taşıma gücü alınabilir.

Zemin emniyet gerilmesi, ise $FS = 2,5$ güvenlik faktörü kullanılarak

$$\sigma_{zem}(net) = Qf_{net} / FS = 100 / 2,5 = 40 \text{ t} / \text{m}^2 \text{ elde edilir.}$$

Buna göre sahada yapılaşmaların genellikle tek ya da çift katlı olduğu düşünülürse statik durumlar için zeminlerde taşıma gücü probleminin olmadığı söylenebilir. Ancak bölgenin depremselliği düşünülürse: deprem durumunda, dinamik koşulların geçerli olacağı bilinmektedir. Bu amaçla, dinamik durumdaki net taşıma gücü aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$Qf = K_i \cdot c \cdot N_c \cdot i_c$$

i_c = Eğim faktörü (İzmir ve çevresi için sabit olarak 0,57 olarak alınmaktadır.)
(Durgunoğlu, 2001) Bu duruma göre dinamik durumda geçerli net taşıma gücü:

$$Qf = K_i \cdot c \cdot N_c \cdot i_c$$

$$Qf = 5 \cdot 20 \cdot 0,57 = 57 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Zemin emniyet gerilmesi ise güvenlik faktörü $FS = 2,5$ alınarak

$$\sigma_{zem}(net) = Q_{net} / FS = 57 / 2,5$$

$$\sigma_{zem}(net) = 22,8 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ olarak hesaplanmıştır}$$

Buna göre dinamik koşullar altında, yüzeysel temelerde taşıma gücü problemlerinin görülebileceği muhtemeldir.

Deprem etkileri dikkate alınmak durumunda iken taşıma gücü ' i_c ' faktörü ile azaltılır. Bu değer $i_c = \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)^2$ şeklinde hesaplanır. β açısı temele yatay deprem kuvveti ile düşey yükün bileşkesi olarak etki eden eğik bileşke yükünün düşeyle yaptığı açıdır.

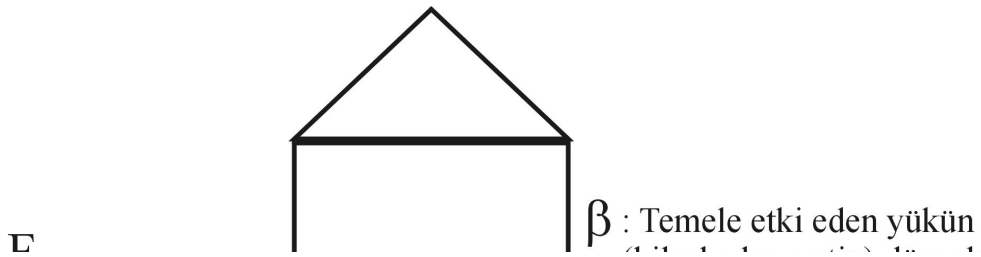
Diğer bir ifadeyle

$$\beta = \arctg \frac{F_{Deprem}}{W} \text{ açısıdır.}$$

şeklinde dikkate alınır (Craig, 1992; Das., 1995). Burada:

W: Temel toplam düşey yükü

İc: Deprem nedeniyle azaltmayı dikkate alan faktördür.



ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK: